मराठी

माध्यमिक भौतिकी

(Intermediate Physics)

लेखक

विश्वनाथ नारायण थत्ते, डी एस्सी. (नागपूर)
प्रमुख, भौतिकी विभाग, नागपूर विश्वविद्यालय

लक्ष्मण श्रीनिवास नन्दनपवार, बी. एस्सी (ऑनर्स), एल एल. बी.
प्राध्यापक, विज्ञान महाविद्यालय, नागपूर

FOREWORD

Convinced of the educational and national value of the use of Indian Languages in Indian Universities, the Academic Council of Nagpur University, on 12th September, 1946, resolved that Hindi and Marathi shall be the media of instruction in the University: for the Intermediate courses in Arts and Science from the academic year 1949-50 and for the courses for the B. A. and B. Sc., from the academic year 1951-52. And from the same dates English shall cease to be the medium of instruction in the University.

While co-operating whole-heartedly in the prolonged All-India deliberations for the long-range planning for introduction of Indian languages as media of instruction, Nagpur University has—except as regards postponement of the scheme in respect of the science courses for one year—stuck to its schedule, endeavouring, with all its limitations, to surmount the imme-

diate practical difficulties in carrying through a linguistic transition of this magnitude.

2. These difficulties are, in the main, the three T's of Terms, Text-books and Teachers.

Thanks to the timely initiative and generous support of its Government, it was possible for the State of Madhya Pradesh to obtain the services of Dr. Raghu Vira of the International Academy of Indian Culture of Lahore and to entrust him with the formidable but foundational task of coining and adapting the technical terms of science for the needs of the new linguistic media. Dr. Raghu Vira, who had already devoted a considerable part of his life to a scientific approach to the problem of technical terms has proceeded to his task on the basic principle of *allied words for allied ideas*, derived from the Sanskrit roots. He has reduced the problem of coining terms almost to an art, an art as fine as it is useful.

3. These terms have been coined and adapted in close collaboration with a band of experienced and enthusiastic teachers of science deputed by the State Government at the same time to prepare suitable text-books of science

under the general direction and guidance of Dr Raghu Vira

They have so far prepard fourteen text-books each with a Hindi and a Marathi version dealing with the Intermediate Science courses in Algebra, Trigonometry, Solid Geome try, Co ordinate Geometry, Statics, Dynamics, Physics (Theory), Practical Physics, General and Inorganic Chemistry, Organic Chemistry, Practical Chemistry, Zoology, Botany (Theory) and Botany (Practical)

The manuscripts of these text-books, when received from the Government, were referred by the University to its Boards of Studies in the various subjects and, on receipt of their reports, the Academic Council decided, on 8th December, 1949, that, subject to certain specified changes, they be recommended as suitable for the Inter mediate Science courses of the University

4 Finally in accordance with a sugges-tion of the State Government and with the help of an appropriate Government grant, the Univer sity decided in April, 1950, to undertake the publication of these first text-books prepared for its courses in science Their printing is now

in progress and seven of these—both Hindi and Marathi versions—which are required for use in the first year of the Intermediate courses are being published today.

5 In the special position occupied by the the Universities of the Madhya Pradesh, it has been necessary to publish these books both in Hindi and Marathi This has added to the labour and the cost involved At the same time it has given us a unique advantage we have here an opportunity of piloting an educational experiment in a regional language and at the same time in the language of the Union The inter action of the two parallel series of lectures and text books in the same University—and in many cases, in the same college—will, I am confident, prove valuable for the emergence of both Hindi and Marathi as more perfect media of higher education than they can claim to be at present

6 As regards the change of medium for the Intermediate Arts courses this has already been brought into force from the academic year 1949 50 The proposal for preparation and publication of text books specially designed for

the needs of the University is still under the consideration of the authorities It was, however, thought desirable not to postpone the operation of the scheme in respect of the Arts courses as (i) the number of technical terms required for Arts is much smaller, as compared with those required for Science, and (ii) a certain number of text books of the Intermediate Arts standard are already available, both for Hindi and Marathi For certain subjects, glossaries of technical terms which will serve the preliminary needs of the teachers and the students have also been prepared by the University Boards of Studies It is further hoped that it would soon be possible to adopt a scheme for preparation of text books for Arts subjects also

7 At the transitional stage, the problem of teachers adequately qualified to give instruction through the Indian languages presents another hurdle For reasons both historical and geographical, the colleges of Madhya Pradesh have been fortunate in having on their staff teachers who between themselves, can claim almost all the principal spoken languages of India as their mother tongues At the present stage,

however, this creates an immediate difficulty in re organizing the teaching arrangements on the new basis The University is, however, confident that, where necessary, the teachers will avail themselves of the existing opportunities of acquiring a fairly good knowledge of the language of the Union or a language of their region and that the teachers and the management will, between themselves, so arrange the teaching programmes of colleges that the transition to the new media is made both smooth and effective

No formal test for imparting instruction through the new media has accordingly been prescribed by the University

8 The final shape of the cultural media of the new India will, after all, be moulded by that intellectual commerce between the teacher and the taught which we call University education The scheme of Nagpur University leaves the choice as between the Sanskritic technical terms and their equivalents to the teachers and the students themselves The text-books being published under the scheme give the new Sanskritic technical terms as well as their English equi-

valents and both teachers and students are, at the present stage, permitted to use either of them according to their convenience and requirements Adoption of this course cuts across the prevailing controversy with regard to the structure of technical terms and, at the same time, gives the newly-coined terms an opportunity to be judged on their own merits along with their English competitors in the academic field

9 Progress in education requires both individual experiments and general planning, local initiative as well as central direction It would hardly be proper to be dogmatic about their order of priority and, in the case of a great linguistic transition at the University stage, the problem requires to be attacked on all fronts The Conference of Education Ministers and Vice Chancellors of India convened by the Ministry of Education in New Delhi in January, 1948, had recommended five years as the time limit within which Indian Universities should make the requisite preparations for commencing their instruction through the Indian languages The Indian Universities Commission has, however, wisely left the determination of the duration

some written material to stimulate and sustain our thinking in these languages. It is a vicious circle that has to be broken and the present series of books is an organised attempt to break it. Deeper thought, practical experience, national planning and local variations will, I have no doubt, change the shape of much of wha is written in these text-books. If, however, they serve even as a raw material on which these forces can play to mould them according to our varying requirements, the labour of those who have worked during the last four years for making this new academic venture a success will have been amply rewarded.

The J. N. Tata University
Convocation Hall, Nagpur.
15th August 1950.

K. L. Dubey
Vice-Chancellor,
Nagpur University.

INTRODUCTION*

भौतिकी stands for भौतिकी विद्या. It is an adnoun from भूत (as in पञ्चभूत or भूतद्रव्य which are common terms for matter) भौतिकी विद्या or simply भौतिकी is the science of matter or more technically the science which deals with phenomena of (inanimate) matter involving no changes in chemical composition or more specifically with the most general and fundamental of such phenomena namely motion. भूतद्रव्यविद्या, भौतिकपदार्थविज्ञान or पदार्थविज्ञान are other terms which are used for physics in Hindi, Bengali and other languages. But भौतिकी has the advantage of being a single, compact word which is more amenable to derivational formations than the longer compound words.

A word more about the formation of भौतिकी. One of the methods of naming sciences in Sanskrit was to use adjectival forms with feminine endings originally intended to be followed by विद्या as मानसी for मानसी विद्या the science of mind. त्रयी, वार्ता and आन्वीक्षिकी are well known from the अर्थशास्त्र of कौटल्य.

---

*In writing the introduction in English I have followed the wishes of Lt Col Shri K. L. Dubey, the Vice-Chancellor of the Nagpur University. It is hereby intended to introduce the book to such teachers as know neither Hindi nor Marathi.

रामचन्द्र in his commentary of the first verse of लक्ष्मणकवि, a continuation of चम्पूरामायण of विदर्भराज, mentions two sciences अदृश्यकरणी and दूरकरणी The commentators of श्रीमद्भागवत, such as श्रीधर, record वैनयिकी विद्या, वैजयिकी विद्या, मायामित्री विद्या and वैतान्त्रिकी विद्या

The adjectival suffix -*ic* in English which is ultimately derived from Skt -क through Greek *ikos* Latin *icus* and French *ique*, has also been used similarly Greek or Latin nouns that were originally adjectives were used substantively and adopted into English as arithmetic music logic etc Since 1600 A D the plural form *ics* has been used instead to denote names of sciences as in physics mathematics politics economics This was probably in imitation of the Greek *ta physika ta ethika* It is further interesting to note that these plural forms are now construed as singulars In German and French usage the singular -*ic* is still used in the names of sciences, e g *die Physik die Politik* in German and *la physique la politique* in French

* *

*English technical terms are international—this is what a large number of Indians are heard to say now-a days On the eve of transition from English to Hindi that is the slogan to which our English edu

*This section has been adapted from our Introduction to the Elementary English Indian Dictionary of Scientific Terms second edition pp 7 8

cated generation is trying to stick, hoping that they might be saved the worry of learning their own language We shall examine this slogan In England the word "international" can be used without any prick to the English conscience only if a few of the neighbouring countries fall in with the British For example, Norway, Denmark, Holland, Belgium France Spain are so many nations If these countries agree in the use of certain terms scientific or literary religious or cultural then the English people say that these terms are international. This usage of the word 'international" must be kept clearly before the mind by our Indian friends They should also keep in mind that Europe and America form one homogenous civilization The source of their religion and civilization is one If the variety of Governments be moved out of the horizon then they can be taken as one mass of humanity as against the Indian or the Chinese Among themselves the Europeans and the Americans do not show greater differences than the various linguistic communities of Northern India To the Europeans Greek and Latin have the same sanctity as Sanskrit has to us

The internationalism of English terminology is really a community of civilization among the different language groups of Europe who are known as different nations on account of the different Governments But when an Indian borrows the phrase from the English he understands by the word international the whole world including India, China and Japan He means by it that it is binding on us to use English terms whether they be intelligible or not

रामचन्द्र in his commentary of the first verse of लक्ष्मणचम्पू, a continuation of चम्पूरामायण of विदर्भराज, mentions two sciences अदृश्यकरणी and दूरकरणी The commentators of श्रीमद्भागवत, such as श्रीधर, record वैनयिकी विद्या, वैजयिकी विद्या, व्यायामिकी विद्या and वैतालिकी विद्या.

The adjectival suffix *-ic* in English which is ultimately derived from Skt -इक, through Greek *-ikos*, Latin *-icus* and French *-ique*, has also been used similarly. Greek or Latin nouns that were originally adjectives were used substantively and adopted into English, as *arithmetic, music, logic, etc* Since 1600 A D the plural form *-ics* has been used instead to denote names of sciences as in physics, mathematics, politics, economics. This was probably in imitation of the Greek *ta physika, ta ethika*. It is further interesting to note that these plural forms are now construed as singulars In German and French usage the singular -ic is still used in the names of sciences, e g *die Physik, die Politik* in German, and *la physique, la politique* in French

* *

*English technical terms are international—this is what a large number of Indians are heard to say now-a-days On the eve of transition from English to Hindi that is the slogan to which our English edu

---

*This section has been adapted from our Introduction to the Elementary English Indian Dictionary of Scientific Terms, *second edition, pp* 7, 8

cated generation is trying to stick, hoping that they might be saved the worry of learning their own language We shall examine this slogan In England the word "international" can be used without any prick to the English conscience only if a few of the neighbouring countries fall in with the British For example, Norway, Denmark, Holland, Belgium, France, Spain are so many nations If these countries agree in the use of certain terms scientific or literary, religious or cultural then the English people say that these terms are international. This usage of the word "international" must be kept clearly before the mind by our Indian friends They should also keep in mind that Europe and America form one homogenous civilization The source of their religion and civilization is one If the variety of Governments be moved out of the horizon then they can be taken as one mass of humanity as against the Indian or the Chinese Among themselves the Europeans and the Americans do not show greater differences than the various linguistic communities of Northern India To the Europeans, Greek and Latin have the same sanctity as Sanskrit has to us

The internationalism of English terminology is really a community of civilization among the different language groups of Europe who are known as different nations on account of the different Governments But when an Indian borrows the phrase from the English he understands by the word international the whole world including India, China and Japan He means by it that it is binding on us to use English terms whether they be intelligible or not.

It is not only the technical words in English which are common to other European languages but even ordinary words as Commencement, Religion Philosophy, Architecture etc etc It does not follow that these words are international in the sense that they are binding on us If it were so, then we would start making a thorough investigation as to which words of the English language are common to other languages of Europe But this has never been done in the world and this shall never be done either by us or by any other country If the Europeans have a certain number of words in common, it is not because they were different sets of people as we and the English are, who felt constrained to use words of another language A word of Greek or Latin origin used in one European country is equally intelligible to another European country So they could sit in a conference and accept any Greek and Latin name But they are not our words They cannot be absorbed into our language as intelligible parts of the language They would stand out as insensible conglomeration of awkward sounds

Our generation which has been brought up on English and Latin terminology cannot properly judge the needs of the generations to come the generations who would not be obliged to spend the best part of their school and college life in the mastery of the English tongue

Latin and Greek are the soul of Europe (including Russia) They are not our soul But we also have a soul We are not soul less We have a history and a

tradition We have a heritage to guard and to develop We cannot merely look up to others as to what they speak We have to attend to our own We have to satisfy our hunger for knowledge Our only aim can be how we can grasp knowledge in the quickest and surest manner We shall save time by teaching our children with our own words and phrases the highest truths of science

We shall not waste their energies in exercises, in correct spelling, pronunciation and accentuation of one of the most erratic languages of the world A few intelligent men at every university may go in for foreign languages but the majority must spend their time in actual pursuit of knowledge Our aim, clear and unbending should be the learning of modern knowledge through words which lead us forward and do not stand as effective blocks in the way of progress How many of the Indian teachers of science let us take Botany and Zoology or Chemistry and Mining understand the English hotchpo ch, known by the name of scientific nomenclature A part of it i meaningful while a good deal is meaningless But whether originally it is one or the other to the Indian it is all meaningless It is to be learnt by sheer repetition and understood with the help of the context and associations alone The words by themselves may mean next to nothing Because they do not understand these words or because they have never tried to think as to how they can be called in our own languages, an atmosphere of mystery, a sense of the unknown and the unknowable, surround these words with

ntic, thermantidote, thermatology, thermatologic, thermatologist, thermesthesia, thermesthesiometer, thermic, thermical, thermically, thermic anomaly, thermic balance, thermic fever, thermic weight, thermion, thermionic, thermionically, thermionic current, thermionic emission, thermionic instrument, thermionic rectifier, thermionics, thermionic tube, thermionic valve, thermit, thermo, thermoammeter, thermoanesthesia, thermobarograph, thermobarometer, thermobattery, thermocautery, thermochemical, thermochemic, thermochemically, thermochemist, thermochemistry, thermochroic thermochrosy, thermocline, thermocouple, thermocouple instrument, thermocouple meter, thermocurrent, thermodevelopment, thermo diffusion, thermodynamic thermodynamical, thermodynamically, thermodynamic effeciency, thermodynamic potential, thermodynamics thermoelectric, thermo electrical, thermoelectric couple or pair, thermoelectric inversion, thermoelectricity, thermoelectric multiplier, thermoelectric pair, thermoelectric piles thermoelectric power of a metal, thermoelectric series thermoelectric thermometer, thermoelectrometer, thermoelectromotive, thermoelement, thermoexcitory thermogalvanometer, thermogen, thermogenerator, thermogenesis, thermo genetic, thermogenic thermogenous, thermogeography, thermogeographical, thermogram, thermograph, thermo graphy, thermohyperesthesia thermoinhibitory, thermo junction thermokinematics, thermolabile, thermolability, thermology thermological, thermoluminescence, thermo luminescent, thermolysis, thermolytic, thermolyze, ther

thermotherapy, thermotic, thermotical, thermotically, thermotics, thermotropic, thermotropism, thermotropy, thermotype thermotypic, thermotypy, thermounstable, thermovoltaic thermy *These number over two hundred*

If we reverse the process, that is if we start providing our own words which would have a meaning in our language, which will not be mere sounds but will be in themselves bearers of a part of their own—definitions, these words will also go on gathering mass Patience, intelligent work, systematic investigation will enrich our language and our mind as nothing else will Foreign words tell you nothing Our own words will tell you something which will lead you ahead That is exactly the difference between our own and what is exotic

Weights and Measures*

The Greeks had no numbers beyond the *myriad* 'ten thousand (10^4) while the Romans did not go beyond *mille* 'one thousand (10^3) The English word million is from Italian *millione* augmentative from *mille* 'thousand In India our ancestors dealt freely with no less than eighteen denominations, and gave them specific names In Lalitavistara a biography of Lord Buddha, numbers go up to 10^{53} ! शीर्षप्रहेलिका, a period of time among the Jain occupies 194 notational places !

* This portion has been taken over from our Great English Indian Dictionary

As is well known, the decimal place value system is an Indian invention and it is from here that the system has spread eastwards and westwards Hence we are quite at home in dealing with the metric system दश, शत, सहस्र, अयुत*, लक्ष and प्रयुत* are single words and can be used simply and unambiguously.

In weights and capacity measures we had great variety in the past After long search we have been able to select out of these a series, mostly the Magadha, which can serve as the basis for English terminology. Even a cursory glance at the two sets, the ancient Indian and the modern English, will convince the reader that the English system has its close counterpart in the Indian, from the grain up to the ton The weights are usually multiples of two (2 2^2, 2^3, 2^4, 2 ,2^8) with an occasional multiple of three or five The starting point is यव which is no more and no less than a grain 180 यवs make one tola The present day Indian Government or Railway seer is 80 tolas one tola being exactly 180 grains (see also Webster's New International Dictionary of the English Language, 1934, s v *ser*)

*दश सहस्र and दश लक्ष are the prevalent names now a days But अयुत (10 000) and प्रयुत (million) are simpler and easier to use in compounds Fortunately प्रयुत *is one* of those few higher numbers whose value is fairly constant right up from the यजुर्वेद (17 2) तैत्तिरीयसंहिता (4 40 11 4 7 2 20 1), and पञ्चविंशब्राह्मण and शाङ्खायनश्रौत down to Aryabhata I (499 A.D), Sridhara (750 A D) Bhaskara II (1150 A D), etc

माष is in use already. Hence it is not used. धान्य which is another name for माष* is 15 यवs, just as one gram is 15 grains (15.43235). Hence धान्य becomes the basis of the metric system of weights.

प्रस्थ has been our unit of capacity measures since times immemorial. It is the counterpart of the modern liter. In Webster its value has been worked out to be 1.03 liters.

An inch is longer than an अंगुल. Hence it is rendered by प्रांगुल. नल्व (चतुःशतहस्तपरिमितदेशः— 600 feet) and क्रोश (4000 हस्तs — 6000 feet) are shorter than furlong and league respectively. Hence furlong is प्रणल्व and league is प्रक्रोश. A mile is less than a क्रोश, so it is rendered by क्रोशक.

In liquid measures start is made with प्रसृति our counterpart of gill.

४ प्रसृति = शराव

८ शराव = आढक

६४ आढक = खारी

The same relationship is shown by the English measures :

4 gills = pint

8 pints = gallon

63 gallons = hogshead

(Note the slight variation in the last item) This gives us the following equivalents

* The goldsmith's माष is slightly different, being 17 grains troy.

by itself it has been used as a general word expressing measure as well as particular measures, e g according to the commentator of तैत्तिरीयसंहिता and कात्यायनश्रौतसूत्र 100 मानs make 5 पलs or पणs

The word मान can be made to cover both the usages of meter, viz, (1) मान meter as the unit of length, and (2) मान as a suffix denoting a measuring instrument, e g तापमान thermometer

Meter is subdivided into decimeter, centimeter, millimeter, etc Their Indian equivalents would be दशिमान, शतिमान, सहस्रिमान, etc Similarly for decameter, hectometer, kilometer, etc which are its multiples, the Indian equivalents would be दशमान, शतमान, सहस्रमान, etc

1 *Length* आयाम

micro meter = micron (μ) अणु मान, प्रयुति मान = प्रयुन (यु मा, प्रि मा = यु ०.००००१ मा)

milli meter (mm) सहस्रि मान (मि मा ०.००१ मा)

centi meter (c, cent cm) शति मान (शि मा ०.०१ मा)

deci meter (dec decim dm) दशि मान (दि मा ०.१ मा)

meter, metre (m) मान (मा)

deca meter (dkm dm) दश मान (द मा १० मा)

hecto meter (hec om hm) शत मान (श मा १०० मा)

kilo meter (kil kilo, kilom, kl, km) सहस्र मान (स मा, १,००० मा)

myria meter (mym) अयुत मान (अ मा १०,००० मा)

mega meter महा मान, प्रयुत मान (म मा, प्र मा १०,००,००० मा)

2. *Weight* भार

metric ton (M T) = millier = tonneau प्रयुत-भार (प्र भा १०,००,००० भा)

quintal (q) दशु धान्य (द धा १००,००० धा)
myria gram (myg) अयुत धान्य (अ धा, १०,००० धा)
kilo=kilo gram (kg, kgm, kilo., kilog.) सहस्र धान्य (स धा, १,००० धा)
hecto gram (hg) शत धान्य (श धा, १०० धा)
deca gram (dkg) दश धान्य (द धा १० धा)
gram (g, gm gr, grm) धान्य (धा)
deci gram (dg) दशि धान्य (दि धा, ०·१ धा)
centi gram (cg cgm) शति-धान्य (शि धा ०·०१ धा)
milli gram (mg mgm, mgrm) सहस्रि धान्य (सि धा, ०·००१ धा)
micro gram (μg) अणुधान्य प्रयुति धान्य (णु धा, प्रि धा, ०·००००० १ धा)

3 *Capacity* धारिता

kilo liter (kl) = s ere सहस्र प्रस्थ (स स्थ, १००० स्थ)
hecto liter (hectol, hl) शत प्रस्थ (श स्थ, १०० स्थ)
deca liter (dkl) दश प्रस्थ (द स्थ १० स्थ)
liter litre (l, lit) प्रस्थ (स्थ)
deci liter (dl) दशि प्रस्थ (दि स्थ ०·१ स्थ)
centi liter (cl) शति प्रस्थ (शि स्थ, ०·०१ स्थ)
milli liter (ml) सहस्रि प्रस्थ (सि स्थ, ०·००१ स्थ)

ENGLISH SYSTEM आंगल मान

4 *Linear Measure* रेखा माप

inch (in) प्रांगुल (प्रा)
foot (ft) पाद (पा)
yard (yd) यष्टि (य, यष्)
rod (rd) = pole ($5\frac{1}{2}$ yds) वंश (वं ५½ यष्टि)
furlong (fur 40 rods) प्रणव (प्र, ४० वंश)
mile (m, mi) क्रोशक (क्रो)
league (l.) प्रक्रोश (प्रक्र)

4. *Square Measure* वर्ग-माप

square (sq.) वर्ग (व.)

acre (A.; a measure of land, originally the amount ploughed by a yoke of oxen in a day, now 160 sq. rods) महल (म; १६० व दण्ड)

township (36 sq. miles) पुर (३६ व. को.)

5. *Liquid Measure* तरल माप

gill (gi., gl.) प्रसृति (प्र.)

pint (p., pt.; 4 gills) शराव (श., ४ प्रसृति)

quart (q., qt., 2 pints) तुर्य (तु., २ शराव)

gallon (gal., gall., 4 quarts) आढक (ढ., ४ तुर्य)

barrel (bar., bbl., bl., brl., $31\frac{1}{2}$ gallons) अर्धखारी (अ. खा.; ३१.५ आढक)

hogshead (hhd., 2 barrels) खारी (खा.; २ अर्धखारी)

6. *Circular Measure* चक्रीय माप

second (") शाणिका (")

minute (') कला (')

degree (°) अंश (°)

quadrant तुरीय

circle, circumference (4 quadrants) चक्र, परिधि (४ तुरीय)

7. *Avoirdupois Weight* सामान्य भार

avoirdupois ('weight of goods'; av., avdp., avoir.) सामान्य (सा.)

grain (g., gr.) यव (य.)

dram (dr., 27 11/32 grains) शाणक (शा., २७ ११/३२ यव)

ounce (oz., 16 drams) शुक्तिका (शु., १६ शाणक)

pound (lb., 16 ounces) प्रांजलि (प्रा., १६ शुक्तिका)

stone (st., 14 lbs.) प्रस्तर (प्र., १४ प्रांजलि)

quarter (q., 2 stones) तुरीय (तु., २ प्रस्तर)

hundredweight (cwt., 100 lbs)=short hundredweight गोणी (गो)=लघु गोणी (ल गो, १०० प्रांजलि)

long hundredweight (l cwt., 112 lbs) दीर्घ गोणी (दी गो; ११२ प्रांजलि)

ton (t., tn 20 cwts, 2000 lbs)=short ton प्रवर्त (वर्, २० गोणी, २००० प्रांजलि)=लघु प्रवर्त (ल वर्)

long ton (l tn., 2240 lbs)=gross ton, shippers' ton दीर्घ प्रवर्त (दी वर्, २२४० प्रांजलि)

metric ton (M T 1000 kilograms) मानिक प्रवर्त (मा. वर्; १००० सहस्रधान्य)

SYMBOLS

The symbols used in physics are usually abbreviations of words for which they stand, e g a for Acceleration and Amplitude c for Candle power, Capacity, Centigrade and Current, d for Density and Distance, e for Electronic charge, g for Gram, etc The English language has no more than 26 letters and 26 is too small a number Hence some of the Greek letters are brought into service e g having employed e for Electronic charge epsilon is employed for Electrode Another equally arbitrary usage is that of small and capital letters, e g small m stands for Magnification, while the capital M is for Magnetic movement or Magnifying power The usage may differ from book to book, e g for mass one may use either the small or the capital letter (m, M)

The symbol is usually the initial graphic unit, in Roman script a single letter of the alphabet, in Devanagari a vowel or one or two consonants with a vowel. (In Devanagari the graphic unit may be simplified, e.g., प for पु of पुञ्जांक mass number, or instead of the initial graphic unit, the second may be used, particularly when the first syllable is an oft-used prefix, e.g., चू for प्र of प्रचूषण-शक्ति (absorptive power).

When pronounced a symbol forms a single syllable.

While in English the symbols are limited by the count of letters in Roman and Greek alphabets, the initial graphic units in Devanagari are numberless. That lends greater richness and clarity to the Indian symbols.

When English letters are not abbreviations, then क ख ग etc. represent a, b, c, etc.

A (absorptive power) चू (प्रचूषण शक्ति)
a, f (acceleration) त्व (त्वरण)
a (amplitude) द (दोलविस्तार)
A (current) 1 (*absolute units*) ध (धारा)
2 (*practical units*) धा (धारा)
A (mass number) प (पुञ्जांक)
α (angle) क (कोण)
α (coefficient of linear or volume expansion) अ
α, a (fraction absorbed) अ (प्रचूषित प्रभाग)
△ ABC △ कखग
a, b, c (sides of a triangle) का, खा, गा
A, B, C, D (points on the Wheatstone's Bridge) क, ख, ग, घ

B (internal resistance *or* cell resistance) 1 (*absolute units*) क (कोशारोध)
2 (*practical units*) का

B (magnetic induction) प्र (चुम्बकीय प्रेरण)
Cf. I (intensity of magnetization) चु (चुम्बकन-चण्डता)

β आ (*Cf.* α अ)

β (angle) आ (कोण)

β *or* b (fraction reflected) आ (परावृत्त प्रभाग)

β (fraction transmitted) ह (पारेषित प्रभाग)

β (pressure coefficient) आ (निपीड-गुणक)

C (candle power) व (वर्ति-शक्ति)

C (capacity) 1 (*absolute units*) ध (धारिता)
2 (*practical units*) धा

°C (centigrade) °श (शतिक)

C_a (coefficient of apparent cubical expansion) वप्र (प्रत्यक्ष-परिमा-विस्तार-गुणक)

C (coefficient of true cubical expansion) वस (सत्य-परिमा विस्तार-गुणक)

C (current) 1 (*absolute units*) व (वाह)
2 (*practical units*) वा (वाह)

C (velocity of light) प्र (प्रकाश प्रवेग)

C_p (specific heat ऊष्मा of a gas at constant pressure निपीड) ऊन

C_v (specific heat ऊष्मा of a gas at constant volume परिमा) ऊप

d, ρ (density) घ (घनता)

D, ϖ (dispersive power) कृ (अपकिरण-शक्ति)

d (distance) दू (दूरत्व)

D (least distance of distinct स्पष्ट vision) स्प

δ_m (angle of minimum deviation) न्यूअ (अल्पिष्ठ विचलन कोण)
e (electronic charge) प्र (विद्युत् प्रभार)
E (E M F) 1 (*absolute units*) न (वि वा ब)
2 (*practical units*) वा
E (emissive power) वि (विकिरण शक्ति)
E (modulus of elasticity) प (प्रत्यास्थता मापांक)
E (symbol for electromotive force, and electrode potential) वु
E (total energy) कि (संकलित ऊर्जा)
e (the elementary electrical charge, the charge on an electron, etc) प्र
e/m (the ratio of charge to mass of the electron) प्र/प
ϵ (the Greek letter epsilon) 1 (an ergon or quantum) अ
2 (symbol of dielectric constant पारवैद्युतिक स्थिरांक) था
3 (electrode विद्युद्वार potential, ϵ^c to normal calomel पारदीय electrode ϵ_h to a normal hydrogen electrode) द्व, द्वैप, द्वैउ
°F (Fahrenheit) °द (द्राघिष्ठांश)
F (field) क्षे (क्षेत्र)
f, F (focal length) न, ना (नाभि आयाम)
F (force) ब (बल)
f (partial pressure of water vapour) द (आंशिक उन्द निपीड)
G (galvanometer constant) दै (धुवाहमान स्थिरांक)
G (galvanometer resistance) द्र (धुवाहमान रोध)
G (geometric mean) ण (गुणोत्तर माध्य)
g, 'g' (acceleration due to gravity) भू, 'भू' (भ्वाकृष्टि-त्वरण)
g 1 (gram) धा (धान्य)
2 (grain) य. (यव)
G (gravitational constant) भ्या (अभ्याकृष्टि स्थिरांक)

$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ (ratio of specific heats of a gas) $\text{ग} = \frac{\text{ऊ}_\text{न}}{\text{ऊ}_\text{प}}$

$_1H^2$, $_1D$ (deuteron) $_1$क^2 (द्विताणु)

H (heat) ऊ (ऊष्मा)

H, h (height) उा, उ (उच्छ्राय)

H (horizontal component क्षैतिज सघटक of earth's field) क्षै

h (Planck's constant) कि (क्रियोलाणु स्थिरांक)

H, Q (quantity of heat) रा (ऊष्म राशि)

I (current) 1 (*absolute units*) न (नाह)

2 (*practical units*) वा (वाह)

I (intensity of illumination) भा (प्रभासन चण्डता)

I (intensity of magnetisation) चु (चुम्बकन चण्डता)

Cf B (magnetic induction) च्च (चुम्बकीय प्रेरण)

I, K (moment of inertia) ज (जडता विभ्रमिषा)

I (total intensity of earth's field पृथिवी क्षेत्र) पृ

i (angle of incidence) अ (आपात कोण)

J (mechanical यान्त्रिक equivalent of heat) या

°K (absolute परम scale of temperature, Kelvin) °के

K (bulk modulus of elasticity) पे (परिमा प्रत्यास्थता-मापाक)

Cf E (modulus of elasticity) प (प्रत्यास्थता-मापाक)

K, k (reduction factor) ख (प्रह्रसन-खण्ड)

K (specific inductive capacity) स्था (constant स्थिरांक)

K (thermal conductivity) वा (ऊष्म सवाहिता)

L (coefficient of self induction) स्व (स्वप्रेरण गुणक)

L (latent heat) गा (गुप्त ऊष्मा)

L, l (length) दा, द, दै (दैर्घ्य)

λ (wavelength) त्य (तरंगायाम)

M (coefficient of mutual induction) स (परस्पर प्रेरण गुणक)

M (magnetic moment) वि (चुम्बकीय विभ्रमिषा)

M (magnetomotive force) चु (चुम्बक-गामक बल)
m (magnification) शा (विशालन)
M (magnifying power) नि (विशालन-शक्ति)
M, m (mass) पु, पु (पुञ्ज)
m (pole strength) भ (ध्रुव-शक्ति)
μ (coefficient of friction) घृ (संघर्षण-गुणक; from √घृष्)
μ (permeability) ध्य (अतिवेध्यता)
μ (refractive index) दे (भुजायन-देशना)
$_0n^1$ (neutron) $_0$क्ल^1 (क्लीवाणु)
N, n (number) सं, स, मे (संख्या)
n, ν (frequency) स (वारंवारता)
ω (angular velocity) को (कोणीय प्रवेग)
P, π (Peltier coefficient) म (संद्यूष्म गुणक)
P, p (pressure) ना, न (निपीड)
p (transmitted fraction) द, ई (पारेषित प्रभाग)
$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ (Wheatstone's Bridge) $\frac{प}{फ} = \frac{ब}{भ}$
$\pi = \frac{\text{circumference}}{\text{diameter}}$ ष्या $= \frac{\text{परिधि}}{\text{व्यास}}$
ϕ (angle) पे (कोण)
Q, q (quantity of electricity) 1 (*absolute units*) प्र (विद्युत् राशि, प्रकेवल एकक)
2 (*practical units*) प्रा
r 1 (angle of reflection) आ (परावर्तन-कोण)
Cf i (angle of incidence) अ (आपात-कोण)
2 (angle of refraction) भु (भुजायन कोण)
R (gas constant) स्था (वातिं-स्थिरांक)
R, r (radius) त्रा, त्र (त्रिज्या)
R (resistance) 1 (*absolute units*) र (रोध)

2 (*practical units*) रा

R (resultant) पा (परिणामी)

ρ, d (density) घ (घनता)

ρ (specific resistance) रा (आपेक्षिक रोध)

s, S (area) क्ष, क्षे (क्षेत्रफल)

s (distance travelled) द (दूरत्व)

s (element of length or distance) ख

Cf L, l (length) दा, द, दै (दैर्घ्य)

s (shunt resistance) स्व (पार्श्वपथ-रोध)

s (space described) ध (धाव)

s (specific heat) क (आपेक्षिक ऊष्मा)

S,T (surface tension) ति (तलतति)

σ (pole strength per unit area) च (चुम्बकीय ध्रुव शक्ति)

σ (Stefan's constant) वि (सम्पूर्ण विकिरण स्थिरांक)

σ (surface density) त (तल घनता)

T (absolute temperature) ता (प्रकेवल ताप)

T (kinetic energy) गि (गतिक ऊर्जा)

Cf E (total energy) वि (संचित-ऊर्जा)

T, S (surface tension) ति (तलतति)

T (periodic time) का क (काल)

t (thickness) थ (स्थूलता)

T t (temperature) ता, त (ताप)

t (transmitting power) पा (पारेषण शक्ति)

t_1 (initial temperature) त$_1$ (आदिम ताप)

t_2 (final temperature) त$_2$ (अन्तिम ताप)

t_n (neutral temperature) त$_{न}$ (क्लीव ताप)

– (couple per unit twist निलम्बन) ट

θ (angle) उ (कोण)

θ (rate of cooling शीतन) शी

u (distance of object) प्र (पदार्थ दूरत्व)
u (initial velocity) त्र (प्रारम्भिक प्रवेग)
v (velocity) वे (प्रवेग)
v_1 (initial velocity) $वे_1$ (आदिम प्रवेग)
v_2 (final velocity) $वे_2$ (अन्तिम प्रवेग)
v (image distance) प्र (प्रतिमूर्ति-दूरत्व)
V (vibration) ? (आवेग)
V, v (volume) पा, प (परिमा)
V_1 (initial volume) $पा_1$ (आदिम परिमा)
V_2 (final volume) $पा_2$ (अन्तिम परिमा)
V_a (apparent volume) पाप्र (प्रत्यक्ष परिमा)
V (potential difference) 1 (*absolute units*) श (शक्म-भेद)
2 (*practical units*) शा
V (potential energy) स्थि (स्थितिक ऊर्जा)
Cf E (total energy) कि (संकलित ऊर्जा)
V (vertical ऊर्ध्व component of earth's field क्षेत्र) क्षु
Cf H (horizontal क्षैतिज component of earth's field क्षेत्र) क्षै
w (electrochemical equivalent) म (विद्युद् रसायनिक समाई)
W (water equivalent) ज (जल तुल्यांक)
W w (weight) भा भ (भार)
w (work done) कृ (कृत कार्य)
χ (susceptibility) ह (अनुहरता)
X, Y, Z क्षा, ज्ञा, ज्ञां
या, रा, ला
x y, z क्ष, ज्ञ, ज्ञ
य, र, ल
Y (Young's modulus) रे (रेखीय प्रत्यास्थता-मापांक)
Cf. E (modulus of elasticity) प (प्रत्यास्थता मापांक)
Z (atomic number) क्र (परमाणु क्रमांक)

2 (*practical units*) रा

R (resultant) पा (परिणामी)

ρ, d (density) घ (घनता)

ρ (specific resistance) रो (आपेक्षिक रोध)

s, S (area) क्षे, क्षे (क्षेत्रफल)

s (distance travelled) द (दूरत्व)

s (element of length or distance) ख

Cf. L, l (length) दा, द, दे (दैर्घ्य)

s (shunt resistance) पव (पार्श्वपथ-रोध)

s (space described) भ (भाव)

s (specific heat) क (आपेक्षिक ऊष्मा)

S, T (surface tension) ति (तलतति)

σ (pole strength per unit area) प (चुम्बकीय ध्रुव शक्ति)

σ (Stefan's constant) वि (सम्पूर्ण विकिरण स्थिरांक)

σ (surface density) त (तल घनता)

T (absolute temperature) ता (परमताप)

T (kinetic energy) गि (गतिक ऊर्जा)

Cf E (total energy) सि (संकलित-ऊर्जा)

T, S (surface tension) ति (तलतति)

T (periodic time) का, क (काल)

t (thickness) थ (स्थूलता)

T, t (temperature) ता, त (ताप)

t (transmitting power) पा (पारेषण शक्ति)

t_1 (initial temperature) $त_1$ (आदिम ताप)

t_2 (final temperature) $त_2$ (अन्तिम ताप)

t_n (neutral temperature) $त_{क्ल}$ (क्लीब ताप)

τ (couple per unit twist विमोटन) ट

θ (angle) उ (कोण)

θ (rate of cooling शीतन) शी

u (distance of object) प (पदार्थ-दूरत्व)

u (initial velocity) प (प्रारम्भिक प्रवेग)

v (velocity) वे (प्रवेग)

v_1 (initial velocity) $वे_1$ (आदिम प्रवेग)

v_2 (final velocity) $वे_2$ (अन्तिम प्रवेग)

v (image distance) प्र (प्रतिमूर्ति-दूरत्व)

V (vibration) े (आवेग)

V, v (volume) पा, प (परिमा)

V_1 (initial volume) $पा_1$ (आदिम परिमा)

V_2 (final volume) $पा_2$ (अन्तिम परिमा)

V_a (apparent volume) $पा_प्र$ (प्रत्यक्ष परिमा)

V (potential difference) 1 (*absolute units*) श (शक्ति-भेद)
2 (*practical units*) शा

V (potential energy) स्थि (स्थितिक-ऊर्जा)
Cf. E (total energy) कि (सकलित-ऊर्जा)

V (vertical ऊर्ध्व component of earth's field क्षेत्र) क्षु
Cf. H (horizontal क्षैतिज component of earth's field क्षेत्र) क्षै

w (electrochemical equivalent) म (विद्युद्-रासायनिक समाङ्क)

W (water equivalent) ज (जल समाङ्क)

W, w (weight) भा (भार)

w (work done) कृ (कृत कार्य)

χ (susceptibility) ह (ग्रहणता)

X, Y, Z क्षा, या, सा
ला, रा, ला

x, y, z क्ष, य, स
य, र, ल

Y (Young's modulus) रे (रेखीय प्रत्यास्थता-मापांक)
Cf. E (modulus of elasticity) प (प्रत्यास्थता-मापांक)

Z (atomic number) क्र (परमाणु-क्रमांक)

I had planned the writing of explanatory notes to technical words used in this book but due to paucity of space, the plan had to be given up Their absence here has been partially compensated by annotations in the Indian English glossary

During the course of last three years, I have had the privilege of enjoying the kind sympathy of the Hon ble Pt Ravi Shankar Shukla, the Chief Minister of Madhya Pradesh To the Hon ble D K Mehta, my debt of gratitude is immense It is he who as the Finance Minister of the State, set the ball rolling The Hon ble Pandit Dwarka Prasad Mishra with his unbounded love for Hindi, has been taking personal interest and has gone so far as to establish a special department for the purpose of establishing Hindi and Marathi as the language of this State To Lt Col N Ganguli the Education Secretary in 1947-48 and his successor Dr V S Jha, I am indebted, for giving top priority to my requirements Since the establishment of the Languages Department in January 1950 Shri A R Deshpande the Under Secretary has been extending to me his wholehearted cooperation

My very special thanks are due to Lt Col Kunjilal Dubey, the Vice Chancellor of the Nagpur University It is due to his love for Hindi and Marathi that the Nagpur University is leading India in the matter of introducing Hindi and Marathi as the media of instruction It was again due to him that the Nagpur University has taken the heavy responsibility upon itself of pub

lishing the text books that were prepared under the orders of the Government of Madhya Pradesh

Lastly my thanks are due to my colleagues the authors of the text-books who have been with me for the last three years In the sphere of physics terminology and symbols the help of Shri V M Dabadghao M Sc, Asstt Prof of Physics, Vidarbha Mahavidyalaya, Amraoti has been most valuable My colleagues have worked devotedly, fully convinced of the service that they are rendering to the nation They have considered their work to be their reward *

Raghu Vira

---

* The title page preface and introduction have been printed at the Aryabharati Press Nagpur

निवेदन



प्राकृतिक विज्ञान या विषयावर मराठीत लिहिण्याचे प्रयत्न प्रथम सन १८३२ ते सन १८५७ या काळात झाले असावे असे दिसते * त्यानंतर, कोल्हापूर येथील राजाराम महाविद्यालयातील प्राध्यापक कै. बाळाजी प्रभाकर मोडक यांनी सन १८९१ आणि त्यापुढील काही काळात भौतिकी आणि रसायन शास्त्राच्या महाविद्यालयीन अभ्यासक्रमास उपयुक्त अशी अनेक पुस्तके लिहीली

---

* मुंबई मराठी ग्रंथसंग्रहालयातील मराठी दोलामुद्रिताच्या सूचीत पुढील विज्ञान विषयक ग्रंथांची नावे आढळतात

(१) सारसंग्रह किंवा शास्त्रीय विद्या कलाकौशल्ये सन १८३१

" " " " " " आवृत्ती २, सन १८३०.

" " " " " " " ३, सन १८६२

(२) हरि केशवजी कृत रसायन शास्त्रविषयक संवाद, सन १८३७

(३) सखाराम रामचंद्र दिक्षित कृत शास्त्रीय ज्ञानदर्शन सन १८५६.

(४) केरो लक्ष्मण छत्रे कृत पदार्थ विज्ञान शास्त्र, सन १८५७

विषय–सूची



यांत्रिकी आणि भूतद्रव्यांचे सामान्य गुणधर्म

प्रकरण १–एककें आणि मापें पृ. १

प्रकरण २–गतिकी. पृ. १६

प्रकरण ३–स्थितिकी. पृ. ३८

प्रकरण ४–तरल स्थितिकी पृ. ८२

प्रकरण १६–ऊष्मा विकिरण. पृ. ३९५

तापभेदमान–उद्गिरण शक्ति अथवा विकिरण शक्ति– प्रचूषण शक्ति–स्थिर तापी–क्रिस्होल्टचा ऊष्मा विनिमय सिद्धान्त–विकिरणाने होणारे शीतन–विकिरण-शोषन–आपेक्षिक ऊष्म्याचे गणन करण्याची शीतन रीति–स्टीफन्चा विकिरण नियम.



एककें आणि मापें

प्रस्तावना

नित्याच्या व्यवहारात आपण सृष्टीतील विविध घटना पाहतो व त्या घटनापासून होणाऱ्या इतर संवेदनांचा इंद्रियाद्वारे अनुभव घेतो इंद्रियापासून मिळणारे हे ज्ञान खरोखरीच वास्तविक (वस्तुनिष्ठ objective) आहे अथवा या ज्ञानाचा संबंध आपल्या मनाशी (आत्मनिष्ठ subjective) आहे आणि असा संबंध असला तर तो कोणत्या स्वरूपाचा आहे याचा अभ्यास दर्शनशास्त्रात करतात या अनुभवाना कारणीभूत झालेल्या सृष्टीतील घटना सत्य मानून त्या घटनाचाच सांगोपांग अभ्यास प्राकृतिक विज्ञानात (natural science) करतात

प्राचीनकाळी भारतीयानी आध्यात्मिक शास्त्रात अप्रतिम प्रगति केली भौतिकीचाही (physics) तात्विक अभ्यास प्राचीनकाळी भारतात झाला द्रव्य परमाणूचेच बनलेले असते ही धारणा प्रथम भारतीयानाच झाली संख्यांक (numerals) आणि दशमिक पद्धति (decimal system) भारतापासून इतर देशाना मिळालेली आहे

आधुनिक युगात पाश्चात्यानी भौतिक विज्ञानात पुष्कळ प्रगति केली, यामुळेच आज त्यांचा उत्कर्ष झालेला दिसतो गेल्या काही शतकात अनेक शास्त्रज्ञानी आपले जीवन भौतिकीच्या अभ्यासात व्यतीत केले त्यांच्या या दीर्घ व अविश्रांत प्रयत्नामुळे आपल्या दैनंदिन व्यवहारातील बरेचसे प्रश्न सोडविले गेले आहेत

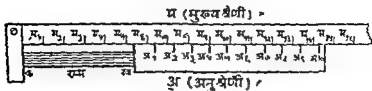
मानण्याचा प्रघात जुनाच आहे. पृथ्वीच्या दैनंदिन परिभ्रमणामुळे (rotation) सूर्य आकाशात पूर्वेकडून पश्चिमेकडे जातो असे वाटते. जेव्हा सूर्य ध्रुववृत्तावर (meridian) असतो तेव्हा त्या वेळेला 'सौर मध्याह्न' (solar noon) अथवा 'प्रत्यक्ष (apparent) मध्याह्न' म्हणतात. ध्रुववृत्तावरून होणाऱ्या सूर्याच्या दोन लागोपाठ संक्रमणातील (transits) कालांतराला 'सौर-दिन' म्हणतात. ह्या कालांतरात प्रत्यही थोडे परिवर्तन होत असते व या परिवर्तनाचा आवर्तकाल (periodic time) १ वर्षाचा असतो. यावरून संपूर्ण वर्षातील सौरदिन-कालांतराच्या योगसंख्येला सौरदिन-संख्येने भागून येणाऱ्या भागफलास 'मध्यक सौर दिन' (mean solar day) म्हणतात. या मध्यक सौरदिनाच्या $\frac{१}{२४}\times\frac{१}{६०}\times\frac{१}{६०}=\frac{१}{८६४००}$ या भागाला 'मध्यक सौर घटिका' म्हणतात आणि ही मध्यक सौर घटिका कालमापनाचे प्रमाण एकक मानतात.

आयाम मापन

जे आयाम मापपट्टीच्या सूक्ष्म भागचिन्हांचे पूर्णांक अपवर्त्य (integral multiples) असतात, त्यांचे मापन सहज होऊ शकते, परंतु व्यवहारात भागचिन्हांच्या पूर्णांकस्पष्ट आयाम असलेली उदाहरणे फार क्वचित् आढळतात. अशा आयामाच्या परिशुद्ध मापनाकरिता, आपल्याला मापपट्टीच्या सूक्ष्म भाग-चिन्हाचा प्रभागही (fraction) मोजता आला पाहिजे. ब्रुसेल्स् येथील व्हर्नियर या शास्त्रज्ञाने योजलेल्या रीतीने मापन अधिक परिशुद्ध होते

व्हर्नियरची रीति

समजा एका रंभाची (cylinder) कम उंची परिशुद्धतेने



आ. १–१

मापावयाची आहे. (आकृति १–१ पाहा). आकृतीत दाखविल्याप्रमाणे कखचा आयाम ५ पूर्णभाग + म$_{५}$ख प्रभाग इतका आहे. हा प्रभाग कसा मोजावयाचा ते पाहू. म या मुख्य श्रेणीच्या कडेने अ ही अनुश्रेणी (vernier scale) सरकविता येते. मुख्य श्रेणीवरील आणि अनुश्रेणीवरील भाग अनुक्रमे म$_{५}$, म$_{६}$, म$_{७}$ आणि अ$_{१}$, अ$_{२}$, अ$_{३}$ इत्यादींनी दर्शविले आहेत. मुख्यश्रेणीवरील ९ भागाचे अंतर अनुश्रेणीवरील १० भागाइतके आहे यावरून लक्षात येईल की, अनुश्रेणीवरील १ भागाचे अंतर मुख्य श्रेणीवरील एका भागाच्या $\frac{९}{१०}$ इतके आहे; म्हणून,

[मुख्य श्रेणीवरील एक भाग–अनुश्रेणीवरील एक भाग]

$$= \left(१-\frac{९}{१०}\right) \text{ मुख्य श्रेणीचा भाग}$$

$$= \frac{१}{१०} \times \text{मुख्य श्रेणीवरील एक भाग}$$

अनुश्रेणीचा उपयोग करताना ही संख्या माहीत असावी लागते. ह्या संख्येला 'अनुश्रेणीस्थिरांक' (vernier constant) म्हणतात. आकृतीत दाखविल्याप्रमाणे अनुश्रेणीवरील अ$_{४}$ हे ४ थे भागचिन्ह मुख्य श्रेणीवरील म$_{९}$ भागचिन्हाशी जुळते आहे म्हणून म$_{८}$ व अ$_{३}$ यातील अंतर, मुख्य श्रेणीवरील एक भाग – अनुश्रेणीवरील एक भाग (म्हणजेच अनुश्रेणी-स्थिरांका) इतके आहे. तसेच म$_{७}$ व अ$_{२}$ यातील अंतर म$_{८}$ आणि अ$_{३}$ यातील अंतरापेक्षा अनुश्रेणी-स्थिरांकाइतके वाढले. यावरून, खालील समीकारांचा अर्थ समजेल.

म$_{८}$अ$_{३}$ = १ × अनुश्रेणी स्थिरांक

म$_{७}$अ$_{२}$ = २ × अनुश्रेणी स्थिरांक

म$_{६}$अ$_{१}$ = ३ × अनुश्रेणी स्थिरांक

म$_{५}$ग = ४ × अनुश्रेणी स्थिरांक

म्हणून, कख = मुख्य श्रेणीवरील ५ भाग + म$_{५}$ख प्रभाग

= मुख्य श्रेणीवरील ५ भाग + ४ × अनुश्रेणी स्थिरांक

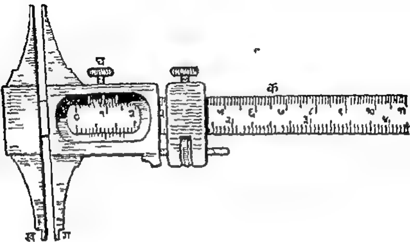
= मुख्य श्रेणीवरील ५ भाग + ४ × $\frac{१}{१०}$

= ५.४ मुख्य श्रेणीवरील भाग

अनुश्रेणीवरील न भागांचे अंतर मुख्य श्रेणीवरील (न−१) भागांच्या अंतराइतके असल्यास, अनुश्रेणी स्थिरांक $\frac{१}{न}$ × मुख्य श्रेणीवरील एक भाग, इतका असतो. या अनुश्रेणीचा आयाम मापनासाठी उपयोग करताना, त्यावरील य भागांक मुख्य श्रेणीवरील एखाद्या भागाशी जुळत असल्यास प्रभाग वाचन = य × अनुश्रेणी-स्थिरांक इतके असते. कोन-वाचनात सूक्ष्मता येण्याकरिता, कोन-श्रेणीला वर्तुलाकार (circular) अनुश्रेणीची जोड दिलेली असते.

अनुश्रेणी व्यासमि

व्हर्नियरच्या रीतीचा उपयोग केल्याने मापन-उपकरणात घडितात त्यापैकी अनुश्रेणी व्यासमि (vernier calipers) हे एक सरल स्वरूपाचे उपकरण होय. आकृति १–२ मध्ये अनुश्रेणी व्यासमीचे रेखाचित्र दाखविले आहे. क या मुख्य श्रेणीला ख जम्भ (jaw) जोडलेला आहे. ग हा चल जम्भ आणि त्यावरील अनुश्रेणी मुख्य श्रेणीवर सरकतात. जेव्हा ख आणि ग जम्भ एकमेकास सलग्न असतात, तेव्हा मुख्य श्रेणी आणि अनुश्रेणी यांवरील शून्यरेषा परस्परसम्मुख असतात. आयाम वाचनाकरिता या व्यासमीचा उपयोग



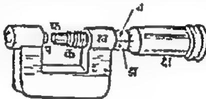
आ १–२

करताना ग जम्भ ख जम्भापासून दूर सारून सपरीक्ष्य (experimental) वस्तु दोन जम्भामध्ये धरतात अनुश्रेणीवरील शून्याकापर्यंतचे मुख्य श्रेणीवरील पूर्ण भाग आणि प्रभाग याचे वाचन अनुश्रेणीच्या वर्णनात सांगितल्याप्रमाणे घेतात हे वाचन सपरीक्ष्य वस्तूची उंची होय घ ह्या पार्श्वभ्रमीने (side-screw) ग जम्भ क श्रेणीवर पाहिजे तेथे खिळविता येतो

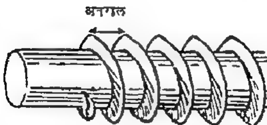
अणुमान भ्रम्यामान

अणुमान भ्रम्यामानाच्या (micrometer screw-gauge) साहाय्याने बारीक तारेचा व्यास, धातूच्या पातळ पत्र्याची जाडी इत्यादि आयाम परिशुद्धतेने मापता येतात. क

ह्या भ्रमि ग ह्या नळीतून मागे पुढे फिरविता येतो आकृति १–३ अ पाहा. क्ष ही भ भ्रमीची टोपी आहे ही टोपी पोकळ रम्भाकार असून तिचा प्रवणित तट (bevelled edge) अंकन केलेला असतो. ग नळीवरील ह श्रेणीचे अंकन गहनिमानामध्ये केलेले असते. प आणि भ्रमीचे चपटे टोक फ जेव्हा एकमेकांशी संलग्न होतात तेव्हा भ्रमिटोपीचा तट ह श्रेणीवरील शून्यरेषेवर येऊन त्या तटावरील वर्तुलाकार श्रेणीची शून्यरेषा य ह्या स्थिर रेषेशी सपाति असते.



आ १–३ अ



आ १–३ आ

भ्रमीवरील सूत्रें इतक्या परिशुद्धतने कापलेली असतात की, कोणत्याहि दोन लगतच्या सूत्रातील (thread) अंतर समान असते. क्ष या टोपीच्या प्रत्येक पूर्ण परिभ्रमणात भ्रमीचे फ टोक दोन लगतच्या भ्रमीसूत्रातील अंतराइतके मागे किंवा पुढे सरकते. समजा हे अंतर १ सि मी आहे व भ्रमिटोपीच्या प्रवणित तटाच्या

परिधीचे (circumference) १०० समान भाग केले आहेत. भ्रमीच्या पूर्ण परिभ्रमणानें हे १०० भाग य स्थिर रेषेवरून फिरतात; अर्थातच टोपीवरील १०० भाग य रेषेवरून परिभ्रमित झाल्यास भ्रमीचें फ टोक १ सि. मा. पुढे किंवा मागे सरकतें. यावरून हें सहज लक्षात येईल की, भ्रमिटोपीवरील १ भागचिन्ह य रेषेवरून परिभ्रमित केल्यास, फ टोक १÷१०० म्हणजे ०·०१ सि. मा. पुढे किंवा मागे सरकतें टोपीच्या एका पूर्ण परिभ्रमणानें भ्रमीचें टोक जितकें अंतर पुढे किंवा मागें जातें, त्या अंतराला भ्रमीचा 'अंतराल' (pitch of the screw) म्हणतात. आ. १-३ आ पाहा. भ्रमीच्या अंतरालाला टोपीवरील एकदर भागाच्या सख्येनें भागिले असतां, ह्या उपकरणाचें 'अल्पिष्ठमाप' (least count) मिळतें. या अल्पिष्ठमापाइतका अल्प प्रभाग ह्या उपकरणाच्या साहाय्यानें मापता येणें शक्य होतें

भ्रमीचें टोक फ आणि उपकरणाचें स्थिर टोक प ही एकमेकांशीं संलग्न असल्यास, भ्रमीच्या टोपीवरील शून्यरेखा य स्थिर रेषेवर असते आणि भ्रमिटोपीचा तट क्ष श्रेणीवरील शून्यरेषेशी सपाति होतो हे मागे सांगितलेच आहे. आता, भ्रमिटोपी प्रतिघटिवत् फिरवून भ्रमिटोपीवरील स भागचिन्ह य या स्थिर रेषेशी सपाति केल्यास पफ मधील अंतर (स × ·०१) सि मा इतकें असलें पाहिजे. यावरून, सूक्ष्म आयाम मोजण्यास अणुमान भ्रमीचा (micrometer screw) उपयोग कसा करतात हें लक्षात येईल.

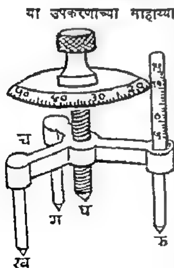
उपकरणातील प आणि फ टोकामधील अंतर वाढवा य दिलेला पातूचा पत्रा हातांत धरून प आणि फ ही दोन टोकें पत्र्याच्या दोन्ही पृष्ठास स्पर्श करतील असा ठेवा टोपीच्या तटापुढे क्ष

श्रेणीचा असणारा पूर्णभाग वाचा. समजा तो भाग ४ हा आहे व व स्थिर रेषेशीं भ्रमिटोपीवरील ३१ वे भागचिन्ह संपाति आहे. पफ मधील अंतर म्हणजेच पत्र्याची जाडी = ४ + ३१ × ·०१ = ४·३१ मि. मा. होईल. याप्रमाणे धातूची तार पफ मध्ये धरून तारेचा व्यास काढता येईल.

प व फ टोकें सलग्न असताना भ्रमिटोपी व क्ष श्रेणीचे वाचन शून्य नसल्यास वर दर्शविल्याप्रमाणे क्ष श्रेणी व टोपीवरील वर्तुळ-श्रेणी यांचीं वाचनें घेतात. या वाचनास 'शून्यविभ्रम' (zero error) म्हणतात; व तो धन अथवा ऋण आहे हें लक्षात घेऊन भ्रम्यामानाने घेतलेल्या पुढील सर्व वाचनांचें योग्य शोधन (correction) करतात.

गोलत्वमान (spherometer)

या उपकरणाच्या साहाय्याने पातळ पट्टयाचें स्थौल्यमापन (जाडी मोजणें) व गोलतलाच्या वक्रतात्रिज्येचे गणन करता येते. भ्रम्यामानाच्या नियमावरच गोलत्वमानाचें कार्य आधारलेलें आहे. आकृति १–४ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे घ हा क, ख, ग या तीन अचल पायावर स्थिर असलेला सुदृढ त्रिपाद (tripod) आहे. क, ख, ग हीं त्रिपादाची अणकुचीदार टोकें सांधल्यास एक समत्रिभुज त्रिकोण होतो. त्रिपादाच्या मध्यभागात बसविलेल्या घ अणुमान स्क्रूच्या शिरोभागी



आ १–४

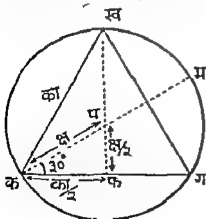
अकन केलेली वर्तुलाकार तबकडी असते या भ्रमीचे टोक अणकुचीदार असते. या भ्रमीला उपकरणाचा 'केंद्रीय चलपाद' म्हणतात भ्रमीवरील वर्तुलाकार तबकडीच्या परिधीचे १०० समान भाग केलेले असतात सहस्रिमानाची एक उदग्रश्रेणी (vertical scale) त्रिपादाला पक्की बसविलेली असून ही श्रेणी तबकडीच्या परिधीच्या अनि-निकटवर्ति असते उदग्रश्रेणीतील भागांकाच्या सम्मुख असलेल्या तबकडीवरील भागाकाचे वाचन यामुळे सहज करता येते उदग्र-श्रेणीच्या मधोमध शून्याक असून, या शून्याच्या वर व खाली श्रेणी सारखीच अकन केलेली असते त्यामुळे घ हा केंद्रीय चलपादाग्र बिंदू क, ख, ग या स्थिर पादाग्राच्या तलाच्या किती वर किंवा खाली आहे हे निश्चित कळू शकते.

केंद्र भ्रमीचे (central screw) अतराल उदग्रश्रेणीच्या साहाय्याने काढता येते $\dfrac{\text{भ्रमीचा अतराल}}{\text{तबकडीवरील एकदर भाग संख्या}}$ = अलिप्ष्ठमाप. या सूत्रावरून अलिप्ठ मापाचेहि गणन करता येते

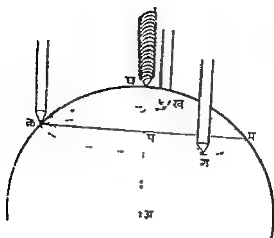
प्रथम तबकडी फिरवून केंद्रभ्रमीचे घ टोक कखग ह्या तलाच्या वर उचलतात व उपकरण काचेच्या एका समतल स्तारावर (sheet) ठेवतात. नतर तबकडी फिरवून केंद्रभ्रमीच्या टोकाचा काचस्तारेशी स्पर्श करतात या स्थितीत चारहि पादाची टोके समपातळीत येतील व तबकडीवरील शून्यरेखा आणि उदग्र श्रेणीवरील शून्यरेखा परस्परासमोर येतील ही उपकरणाची शून्य-वाचन स्थिति (zero position) होय नतर तबकडी फिरवून केंद्रभ्रमि पुरेसा वर घेतल्यावर त्याखाली काचस्तारेवर सपरीक्ष्य पातळ पट्टी ठेवतात, आणि त्या पट्टीच्या वरील पृष्ठतलाशी घ टोकाचा स्पर्श होईल इतका केंद्रभ्रमि खाली सरकवितात या स्थितीत तबकडीच्या पातळीजवळील उदग्र श्रेणीच्या शून्याकाच्या

दिशेकडील पूर्ण भागचिन्हाचें वाचन घेतात. तसेच उदग्रश्रेणीसमोर येणाऱ्या तबकडीवरील वर्तुळाकार श्रेणीच्या भागचिन्हाचें वाचन घेतात. या दोन वाचनांवरून पट्टीच्या जाडीचें मापन करता येते; उदाहरणार्थ, उदग्रश्रेणीचें वाचन ३ भागचिन्ह (प्रत्येक भागचिन्ह= १ सि. मा.) व तबकडीचें वाचन ३६ असून भ्रमीचें अल्पिष्ठमाप ०·०१ सि. मा. असल्यास, पट्टीची जाडी ३+३६×·०१=३·३६ सि. मा. होईल.

उद्बुज (convex) वीक्षाच्या (lens) वक्रताविज्येचें गणन करावयाचें असल्यास केंद्र चलपाद पुरेसा वर चढवून, हे उपकरण वीक्षाच्या तलावर अशा तऱ्हेने ठेवतात की तिन्हीहि स्थिर पादाची टोकें वीक्षाच्या तलाशी स्पर्श करतील. यानंतर घ केंद्रीय पाद खाली आणून त्याचा वीक्षाच्या तलाशी स्पर्श करवितात. ह्या स्थितीत क, ख आणि ग हे बिंदू एका समपातळीत आहेत, व घ हा बिंदू या पातळीच्या वर आहे. आकृति १–५ अ पाहा. या स्थितीचें वाचन उदग्र व वर्तुळ श्रेणीवरून मागे सांगितल्याप्रमाणेच घेतात कखगसमतलापासून केंद्रीय भ्रमीचें टोक घ याची उंची वरील वाचनाने समजते ही उंची छ असल्यास पुढील व्युत्पादिलेल्या सूत्रावरून (formula) वक्रताविज्येचें गणन करता येते.



आ. १–५ अ



आ. १–५ आ

क ख ग हा समत्रिभुज होतो हे मागे सांगितलेच आहे. केंद्रीय भ्रमि फिरवून त्याचे घ टोक क ख ग च्या तलात आणल्यास ते टोक आकृति १–५ अ यात दाखविलेल्या प बिंदूतून जाते व प बिंदु क, ख आणि ग या प्रत्येकापासून समान अंतरावर असतो. △ क ख ग ची भुजा कख=का, आणि कप=क्ष आहे. पफ हा कग भुजेवर लंब काढला आहे म्हणून,

△ कपफ मध्ये

$$\text{पफ} = \frac{\text{क्ष}}{२}, \text{ कारण } \angle \text{पकफ} = ३०^\circ$$

$$\therefore \quad \text{क्ष}^२ = \frac{\text{क्ष}^२}{४} + \frac{\text{का}^२}{४}$$

$$\text{अथवा } \text{क्ष}^२ = \frac{\text{का}^२}{३}$$

आकृतीत दाखविल्याप्रमाणे कपम ही गोलाची (sphere) जीवा (chord) आहे म्हणून जीवा छेदनप्रमेयावरून,

$$कप \times पम = (२त्र - छ)\, छ \text{ किंवा } कप^{२} = (२त्र - छ)\, छ.$$

या सूत्रात त्र ही वक्रता त्रिज्या आहे तसेच,

$$कप = पम = दा$$

$$\text{म्हणून, } दा^{२} = २त्रछ - छ^{२}$$

$$\text{किंवा } \frac{दा^{२}}{३} = २त्रछ - छ^{२}$$

$$\text{अथवा } त्र = \frac{दा^{२}}{६छ} + \frac{छ}{२}$$

या सूत्रात दा आणि छ यांच्या किंमती माहीत असल्यास, त्यावरून त्र चे गणन करता येते

क, ख, ग आणि घ हे काचेच्या समतल स्ताराला स्पर्श करतात. अशा स्थितीत, उदग्रश्रेणी व तबकडीवरील वर्तुळश्रेणी या दोहोंचे वाचन शून्य असावयास पाहिजे. तसे न असल्यास, मागे वर्णन केल्याप्रमाणे उदग्रश्रेणीचे व तबकडीवरील वर्तुळश्रेणीचे वाचन घेतात. ह्या वाचनास शून्य विभ्रम म्हणतात हा विभ्रम धन किंवा ऋण आहे हे लक्षात घेऊन या उपकरणाने घेतलेल्या सर्व वाचनाचे योग्य शोधन करतात

प्रश्न

१ मापोडमानाची मापश्रेणी एक भाग = $\frac{१}{२०}$ आंगुल (inch) अशा प्रमाणे अंकन केलेली आहे अनुश्रेणीवरील २५ भागांचे अंतर मुख्य श्रेणीवरील २४ भागांइतके असल्यास अनुश्रेणी स्थिरांकाचे गणन करा

२ अनुश्रणीचा नियम योग्य विवरणासह लिहा अनुश्रणीवरील 'स' भागाचे अंतर मुख्य श्रेणीवरील (स+१) भागाइतके असल्यास अनुश्रेणी स्थिरांकाचे गणन करून या अनुश्रणीच्या साहाय्याने आयामाचे परिशुद्ध वाचन कसे घेता येईल हे सादाहरण लिहा

३ मुख्य श्रेणीवरील १९ सि मा अंतराचे अनुश्रणीवर १० भाग केले आहेत या अनुश्रणीच्या साहाय्याने आयाम वाचनात किती सूक्ष्मता येईल याचे गणन करा

४ कोन' मापणाऱ्या वर्तुलाकार श्रेणीचे ½ अंशात अंकन केले आहे कोन मापनात ६ कला (minute) मापण्याइतकी सूक्ष्मता साधावयाची असल्यास अनुश्रेणीचे अंकन कसे असावे ?

५ भ्रम्यामानाचे वर्णन करा व त्या उपकरणाचा आयाम मापनात उपयोग कसा करतात तें सविस्तरपणे लिहा

६ एक भ्रमि पूर्ण परिभ्रमणाने ½ सि मा अंतर सरकतो भ्रमिटापीवर ५० भाग असल्यास, भ्रमीचा अनराल आणि अल्पिष्ठमाप किती असेल ?

७ गोलत्वमानाचे वर्णन करा आणि त्याच्या साहाय्याने कुब्ज (concave) तलाची वक्रतात्रिज्या कशी काढता येईल ते लिहा

८ एका गोलत्वमानाच्या शून्य विभ्रमाचे वाचन उदग्र श्रेणीच्या शून्याच्या खाली ० ०७ सि मा आहे

(अ) काचपट्टीच्या जाडीचे प्रत्यक्ष वाचन १ १५ सि मा असल्यास काचपट्टीची परिशुद्ध जाडी किती असावी ? [परिशुद्ध वाचन = प्रत्यक्ष वाचन – शून्यविभ्रम]

(आ) एका कुब्जतलावर याच गोलत्वमानाचे चारहि पाद स्पर्श करीत असताना मिळणारे प्रत्यक्ष वाचन २ ३२ सि मा असल्यास परिशुद्ध वाचन किती असावे ? दोन स्थिर पादांतील अंतर ५ सि मा असल्यास कुब्जतलाची वक्रतात्रिज्या किती असेल ?

प्रकरण २

यांत्रिकी

यांत्रिकी या विषयात विविध बलाच्या क्रियेने मूतद्रव्यावर होणाऱ्या परिणामांच्या अभ्यासाचा समावेश होतो. चेंडू फेकताना, गतिमान चेंडू थांबविताना अथवा गाडी ओढताना आपल्या स्नायूवर ताण पडल्याने होणाऱ्या संवेदनेस कारण बल असे सामान्यपणे आपण म्हणतो. यावरून लक्षात येईल की, वस्तु गतिमान करण्यास अथवा तिच्या गतीत परिवर्तन करण्यास बलाची आवश्यकता आहे. गति, बल, वस्तु-पुंज यांचे व यांच्या परस्पर संबंधांचे परिशुद्ध ज्ञान होण्याकरिता यांत्रिकीचा अभ्यास करणे आवश्यक आहे. यांत्रिकीच्या (mechanics) अभ्यासाचे खालील तीन मुख्य विभाग केलेले आहेत. 'प्रगतिकी' (kinematics) यामध्ये बलाचा विचार न करिता गतिमापन, तसेच निरनिराळ्या गतींच्या संमिश्राने होणारी परिणामी गति (resultant motion) इत्यादिकांचा अभ्यास समाविष्ट होतो. 'प्रवेगिकी' (dynamics) या विभागात एक वा अधिक बलाच्या योगाने वस्तुपुंजात होणाऱ्या गतिपरिवर्तनाचा अभ्यास होतो. विविध बलाच्या क्रियेने वस्तु स्थिर राहिल्यास या समतोल बलाचा अभ्यास 'स्थैतिकी' (statics) विभागात करतात. स्थिर वस्तूची गति शून्य आहे यावरून स्थैतिकी हा प्रवेगिकीचा एक पोटभाग म्हणता येईल. यापुढील विवेचन समजण्याकरिता या विषयात योजलेल्या परिभाषा माहित असणे अवश्य आहे. ह्या परिभाषा कोणत्या आहेत ते आता पाहू.

वस्तु स्थानांतर करीत असल तर त्या वस्तूस गति आहे असे म्हणतात. ही गति तीन प्रकारची असू शकते. १ स्थानांतरण गति

(translational motion), २ परिभ्रमण गति (rotational motion) आणि ३ प्रदोलन गति (oscillatory motion).

वस्तूच्या सर्व भागाचे स्थानांतर सारखेंच होत असल्यास त्या वस्तूची गति स्थानांतरणाची आहे असे म्हणतात. स्थानांतर होत असताना वस्तूच्या निरनिराळ्या भागाचे एखाद्या विशिष्ट रेषेपासून मापलेले अंतर स्थिर राहिल्यास त्या वस्तूला परिभ्रम-गति (rotatory motion) आहे असे म्हणतात. फिरता भोंवरा अथवा स्थायरगनाचे प्रचक्र (flywheel of the engine) यांची गति परिभ्रामी असते. पाळणा, झोपाळा, घड्याळाचा निदोल अशा वस्तु गतिमान असताना त्यांचे स्थिर स्थितीपासून विस्थापन दोन विरुद्ध दिशांनी होतें, आणि या गतींत प्रदोलित वस्तु तिच्या गमनमार्गावरील कोणत्याहि एका बिंदूजवळ त्याच प्रवेगाने काही विशिष्ट कालांतराने वारंवार येते. या विशिष्ट कालांतराला प्रदोलनाचा 'आवर्तकाल' (periodic time) म्हणतात. वस्तूस वरील पैकी एक अथवा अनेक प्रकाराची गति असू शकते. उदाहरणार्थ, गतिमान वाहनाची चाकें आणि उडत्या विमानाचे प्रणोदक (propeller) अथवा पंखे यास स्थानांतरण व परिभ्रमण ह्या दोन्ही गती असतात.

विस्थापन (displacement) आणि प्रवेग (velocity)-

वस्तु स्थानांतर करीत असेल तर पहिल्या स्थानापासून दुसऱ्या स्थानाच्या सरळ रेषेवरील अंतरास वस्तूचे 'विस्थापन' म्हणतात. विस्थापनाची मात्रा (magnitude) आणि ते कोणत्या दिशेने होते हे समजल्यास विस्थापनासंबंधी पूर्ण ज्ञान होते

आयाम, परिमा, काल यांचे पूर्ण ज्ञान त्यांची मात्रा आणि मापनाचे एकक मावरून होते या दृष्टीने विस्थापन ही गति

साधामादि राशींहून भिन्न आहे. ज्या राशींचे पूर्ण ज्ञान होण्यास दिशेचाहि निर्देश आवश्यक असतो अशा राशीस 'सदिश राशि' (vector quantity) म्हणतात. सदिश राशींची दुसरी उदाहरणें पुढें येतील. पुंज, मान इत्यादींस 'अदिश राशी' (scalar quantities) म्हणतात.

विस्थापनाच्या त्वरेस (rate) त्या वस्तूचा 'प्रवेग' (velocity) म्हणतात. गतिमान वस्तूचें एका सरळ रेषेवरील विस्थापन समान कालांतरास—मग तें कालांतर कितीहि लहान असो—सारखेंच होत असेल तर त्या वस्तूचा प्रवेग अचल (uniform velocity) आहे असें म्हणतात. समान कालांतील विस्थापन सारखें नसल्यास, वस्तूच्या अशा प्रवेगास चल प्रवेग (variable velocity) असें नांव आहे. समजा वस्तूच्या गतिमार्गावरील फ या बिंदूजवळील (आकृति २-१ पाहा) पफब हें लहान अंतर क्रमण्यास लागणारें कालांतर क आहे. आता, हें अंतर क्रमाक्रमानें लहान लहान करीत गेल्यास अंतराच्या क्रमणाचा कालहि लहान होईल आणि



आ २-१

$\frac{\text{पब}}{\text{क}}\ \frac{(\text{अंतर})}{(\text{काल})}$ या निष्पत्तीच्या सीमाहेला (limiting value) त्या वस्तूचा फ बिंदूजवळील तात्कालिक प्रवेग (instantaneous velocity at a point) म्हणतात. १ कालिकेंत १ शि.मा. विस्थापन होत असल्यास, $\frac{\text{१ शि. मा}}{\text{१ का.}}$ हा प्रवेग शि. धा. का. मापन पद्धतीत प्रवेगाचें एकक आहे.

त्वरण (acceleration)

आवेजकाने (accelerator) आत्मवह (automobile) जास्त वेगाने चालू होतो, म्हणजे त्याचा प्रवेग वाढतो वस्तूच्या प्रवेगात बदल होत असल्यास वस्तूच्या गतीत त्वरण होत आहे असे म्हणतात प्रवेगपरिवर्तनाच्या अर्थाला 'त्वरण' अशी संज्ञा आहे.

$$\therefore \frac{\text{प्रवेगाचे परिवर्तन}}{\text{परिवर्तनाचा काल}} = \text{त्वरण}$$

प्रवेग सदिश राशि असल्याने त्याचे परिवर्तन सदिश राशि आहे. अर्थात् त्वरणहि सदिश राशि आहे आत्मवहाचा प्रवेग $\frac{१० \text{ पा}}{\text{का}}$ असून आवेजकाच्या साहाय्याने २ काष्ठिकानंतर त्याचा प्रवेग $\frac{११ \text{ पा}}{\text{का}}$ झाल्यास, ह्या कालातील

$$\text{माध्यत्वरण} = \frac{\frac{११ \text{ पा}}{\text{का.}} - \frac{१० \text{ पा.}}{\text{का}}}{२ \text{ का.}} = \frac{१ \text{ पा.}}{२ \text{ का}^२} \text{ असते}$$

$\frac{\text{प्रवेग परिवर्तन}}{\text{परिवर्तनाचा काल}}$ या निष्पत्तीची अहीं अचल राहिल्यास त्वरण अचल आहे असे म्हणतात त्वरणात परिवर्तन होत असल तर वरील निष्पत्तीची सीमाहीं तात्क्षणिक त्वरण दर्शविते.

प्रगतिवर्णीय समीकार (Kinematical equations)

सरळ रेषेत गतिमान असणाऱ्या वस्तूचा आद्य प्रवेग (initial velocity) प, गतीच्या दिशेने असणारे त्व हे अचल त्वरण, या त्वरणामुळे क काष्ठिकानंतरचा वस्तूचा प्रवेग वे आणि विस्थापन दू या राशींचे परस्पर संबंध काय आहेत ते पाहू

प्रत्येक काष्ठिकेत प्रवेगाचे परिवर्तन त्व असल्याने क काष्ठिका नंतरचा प्रवेग,

$$वे = व + त्व क \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (स.\ २-१)$$

या समीकारावरून लक्षात येईल की वे ची अर्हा कालावरोबर समांतर श्रेढीने (arithmetic progression) वाढते. $\frac{व + वे}{२}$ हा क कालातील माध्य (mean) प्रवेग आहे. या माध्य प्रवेगाने वस्तूचे क काष्ठिकातील विस्थापन दू ने दर्शविल्यास,

$$दू = \left(\frac{व + वे}{२}\right) \times क$$

या समीकारात, समीकार (१) मधील वे च्या अर्हेचा आदेश करून

$$दू = \left[\frac{व + (व + त्वक)}{२}\right] \times क$$

$$दू = व क + \frac{त्वक^२}{२} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (स.\ २-२)$$

दू अंतर क्रमिल्यानंतर वस्तूचा होणारा प्रवेग वे आणि हे अंतर याचा संबंध खालीलप्रमाणे आहे. समीकार (२-१) चे द्विघातन (square) केल्यावर,

$$वे^२ = व^२ + २\ व\ त्व\ क + त्व^२ क^२$$

$$= व^२ + २\ त्व \left(वक + \frac{त्व\ क^२}{२}\right)$$

कंसातील पदसहति दू इतकी आहे समीकार (२-२) पाहा.

$$\therefore\ वे^२ = व^२ + २\ त्व\ दू \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (स\ २-३)$$

विश्राम अवस्थेपासून (state of rest) गतीमान झालेल्या वस्तूचा आद्य प्रवेग व = ० असल्याने, अशा वस्तूच्या गतिसंबंधी वरील तीन समीकारांची रूपे पुढीलप्रमाणे होतात.

$वे = त्व क$ ... ... (स. २–४)

$दू = \frac{१}{२} त्व क^२$ ... ... (स. २–५)

$वे^२ = २ त्व दू$ ... ... (स. २–६)

सपरीक्षेवरून असे दिसून आले आहे की, पृथ्वीवरील कोणत्याहि स्थळी वस्तू मुक्तपणे खाली पडत असताना सर्व वस्तूंचे अधोगत त्वरण सारखेच असते पृथ्वीच्या आकर्षणामुळे हे त्वरण होते; म्हणून या त्वरणास 'भ्वाकृष्टि-त्वरण' (acceleration due to gravity) म्हणतात आणि ते भू ह्या अक्षराने दर्शवितात. कोणत्याहि स्थळी या त्वरणाची अर्हा स्थळाचा अक्षांश (latitude) व तेथील भौगोलिक परिस्थिति यावर अवलंबून असते

न्यूटनचे गति-नियम

बलाच्या प्रयोगाने वस्तूत होणाऱ्या गतिपरिवर्तनाचा अभ्यास गॅलिलीओ आदि शास्त्रज्ञांनी केला. परंतु वस्तुपुज (पुज=वस्तूतील द्रव्यराशि) बल आणि प्रवेग यांचा संबंध दर्शविण्याच्या निश्चित नियमांची मांडणी सर आयझॅक न्यूटनने केली. या नियमांस 'न्यूटनचे गति-नियम' म्हणतात

पहिला नियम—बाह्य बलाचा प्रयोग होत नसल्यास, स्थिर-वस्तू आपल्या विश्राम-स्थितीतच राहतात तसेच बाह्य बलाचा प्रयोग होत नसल्यास गतिमान वस्तूचा गतीच्या दिशेतील प्रवेग अचल असतो.

दुसरा नियम—वस्तूच्या गमनापरिवर्तनाचा अर्थ त्या वस्तूवरील विपाकीबलाशी अनुपाती असतो आणि गमनेचे हे परिवर्तन बलाच्या दिशेनेच होते

ग या वस्तूच्या उपस्थितीमुळे क वस्तूवर बल कार्य करीत असल्यास, ग ची क वर क्रिया होते अशी परिभाषा योजून न्यूटनचा गतिविषयक तिसरा नियम पुढीलप्रमाणे देता येईल–

तिसरा नियम – ख ची क वर क्रिया होत असल्यास, क ची ख वर प्रतिक्रिया (reaction) होते या क्रिया आणि प्रतिक्रिया समान असून विरुद्ध असतात

स्थिर वस्तूचा दुसऱ्या वस्तूशी संबंध आल्याशिवाय, ती गतिमान होत नाही हा अनुभव आपणास इतका पटलेला आहे की घरातील वस्तु पूर्वस्थळी न सापडण्याची कारणें काय याचा विचार करताना ती वस्तु काही आपोआप जागची हालली नाही असे आपण चटकन म्हणतो, म्हणजे दुसऱ्या वस्तूशी संबंध आल्यानेच स्थिर वस्तु गतिमान होते हा अनुभव आपणास व्यक्त करावयाचा असतो गतिमान वस्तूच्या गतीत परिवर्तन करण्यासहि दुसऱ्या वस्तूची आवश्यकता असते हाहि अनुभव आपणास आहेच. उदाहरणार्थ, गोलदाजाने फेकलेल्या चेंडूच्या गतीत बदल करावयाचा असल्यास फलंदाजाच्या बॅटीची अथवा यष्टिरक्षकाची अथवा क्षेत्ररक्षकाची आवश्यकता असते

एका वस्तूच्या उपस्थितीमुळे दुसऱ्या वस्तूच्या स्थिरस्थितीत वा गतीत परिवर्तन होण्याचा संभव असल्यास, या परिवर्तनाचे कारण, पहिल्या वस्तूच्या बलाची, दुसऱ्या वस्तूवर क्रिया होते असे मानले जाते आपल्या हाताच्या विरोधी बलाने आपण गतिमान चेंडू अडवितो, फलंदाजाच्या बॅटच्या बलाने चेंडूची गति बदलते इत्यादि वाक्यांत हाच अर्थ आहे वरील अनुभव न्यूटनच्या पहिल्या गतिनियमांत सांगितला आहे या गतिनियमाच्या दुसऱ्या भागाचे जास्त स्पष्टीकरण करू. समतल पृष्ठभागावर सरपटत फेकलेला चेंडू समतलाचा पृष्ठ जितका जास्त गुळगुळीत असेल, तितका जास्त लांबवर जाईल हे आपणास पटते यावरून घर्षण (friction) बल कमी झाल्यास गतीचे परिवर्तनहि त्वरित होत नाही आणि घर्षण-बल शून्य झाल्यास, गतीत मुळीच परिवर्तन होऊ नये असा

निष्कर्ष निघतो मात्र सपरीक्षेने या निष्कर्षाचे सत्यापन करणे शक्य नाही, कारण संघर्षशून्य समतल निर्माण करणें अशक्य आहे. काही परिस्थितीत बलाची वस्तूवर क्रिया होत असूनहि वस्तूच्या स्थिर स्थितीत अथवा गतीत परिवर्तन होत नाही अशा परिस्थितीचा सूक्ष्म अभ्यास केल्यास दिसून येईल की, त्या वस्तूवर इतर बलाची क्रिया होत असून या विविध बलाचे समतोलन होते म्हणून वस्तूच्या स्थिर स्थितीत अथवा गतींत परिवर्तन होत नाही. याकरिता बलाच्या क्रियेने वस्तूच्या स्थितीत अथवा गतीत परिवर्तनाचा संभव असतो असे वर म्हटले आहे काही आधुनिक इग्रजी पाठ्य पुस्तकांत अतुलित बलानें (unbalanced force) वस्तूच्या स्थिर स्थितीत अथवा तिच्या गतीत परिवर्तन होतें अशी वाक्य-रचना आढळते.

गतिविषयक पहिल्या नियमाचा दुसऱ्या एका दृष्टीनें असा विचार करता येईल की सृष्टीतील सर्व वस्तुमात्राची प्रवृत्ति स्वतःची गति अचल ठेवण्याची असते स्थिर स्थिति अथवा गति याच्या परिवर्तनाला वस्तू विरोध करतात असे म्हणता येईल. या विरोधाला भौतिकींत 'जडता' (inertia) असे नाव दिलेले आहे गतिमान आत्मवह (automobile) एकदम थांबविल्यास आतील प्रवासी गतीच्या दिशेने बाकावरून पुढे फेकले जातात हे जडतेचे उदाहरण आहे आरोधाच्या (brake) बलाचा गतिमान आत्म-वहावर परिणाम होऊन त्याची गति नाहींशी होते. परंतु प्रवाशांवर आरोधाचा परिणाम होत नसल्याने त्यांची गति कायम असते आत्मवहावरील बाक स्थिर होतो व गतिमान प्रवासी स्थिर बाक सोडून स्वतःच्या गतीने पुढेच जात असतात म्हणून ते पुढे फेकल्यासारखे वाटतात

. क्रिकेटचा चेंडू आपण सहज फेकता व गतिमान चेंडू सहज

असवितो, परंतु या चेंडू इतकी परिमा असलेला लोखंडाचा गोल फेंकण्यास अथवा गतिमान गोलास स्थिर करण्यास जास्त बलाची आवश्यकता आहे हें आपणास पटतें यावरून, वस्तुपुंज वाढल्यास त्याच्या स्थिरस्थितीत अथवा गतीत परिवर्तन करण्यास लागणारे बलहि वाढवावें लागतें, हा सामान्य अनुभव न्यूटनच्या गतिविषयक दुसऱ्या नियमात जास्त स्पष्टपणे आणि परिशुद्धतेने मांडिला आहे. पु आणि पु' अनुक्रमे पुंज असलेल्या वस्तूंचे ब आणि ब' या बलाच्या क्रियेने सारख्याच कालखंडात सारखेंच गतिपरिवर्तन होत असल्यास,

$$\frac{ब}{ब'} = \frac{पु}{पु'}$$

यावरून, गतिपरिवर्तनाचे अर्थ (त्वरण) सारखें असल्यास,

ब ∝ पु असें म्हणता येईल.

गतिपरिवर्तन लवकर अथवा सावकाश व्हावें हें बलावर अवलंबून आहे हें खालील उदाहरणावरून लक्षात येईल गतिमान आत्मवहाचे गत बंद करून आगाव दाबल्यास आत्मवह लवकर स्थिर होतो दुचाकीला लवकर गतिमान करण्यास पादकावर (pedal) जास्त जोर द्यावा लागतो ह्यावरून बल वाढल्यास गतिपरिवर्तन शीघ्रतेने होतें असा निष्कर्ष निघतो हाच अनुभव परिशुद्धतेने पुढील प्रमाणे लिहिता येईल

वस्तूचा पुंज स्थिर असल्यास,

बल ∝ प्रवेग परिवर्तनाचा अर्थ]

न्यूटनच्या गतिविषयक दुसऱ्या नियमांत वरील दोन्ही संबंध एकत्रित दाखविले आहेत

$$ब \propto पु\ त्व$$

$$यावरून,\ \frac{ब}{पु\ त्व} = क्ष$$

(क्षची अर्थ 'ब' आदि राशीच्या मापन-पद्धतीवर अवलंबून आहे)

अथवा, $ब = क्ष (पु\ त्व)$; असा समीकार लिहीता येईल

(पु × प्रवेग) या गुणन फलास 'गमता' (momentum) अशी संज्ञा दिल्यास,

$$ब = क्ष \times पु \left(\frac{व - व'}{क}\right), \ldots \left[कारण \left(\frac{व - व'}{क}\right) = त्व \right]$$

येथे व आणि व' यानी अनुक्रमे क कालखंडाच्या आरंभीचा प्रवेग आणि अंतिम प्रवेग (final velocity) दर्शविला आहे हाच समीकार पुढील प्रमाणे लिहीता येईल

$$ब = क्ष \left(\frac{पु\ व' - पु \cdot व}{क}\right)$$

= क्ष × गमतेच्या परिवर्तनाचा अर्थ

न्यूटनच्या काळात गतिपरिवर्तनाने वस्तुपुंजात बदल होत नाही असे गृहीत मानण्याची प्रवृत्ति होती गतीने वस्तुपुंजात परिवर्तन होत असावे ही कल्पना वेळोवेळी चर्चिली जाऊन गतीमुळे वस्तुपुंजात परिवर्तन होते हें आता मान्य झाले आहे या दृष्टीने ब = क्ष × गमतेचा अर्थ, हा समीकार जास्त सोयीचा आहे, कारण गमतेच्या परिवर्तनात वस्तुपुंजाचे परिवर्तन आणि गतीचे परिवर्तन ही दोन्ही समाविष्ट आहेत गतिविषयक दुसऱ्या नियमाचा उपयोग करून बलाचे मापन पुढीलप्रमाणे करतात.

$$ब = क्ष\ पु\ त्व$$

एकक पुंजाच्या वस्तूत एकक त्वरण निर्माण करणारे बल हें

बलमापनाचे एकक योजिल्यास वरील समीकार खालीलप्रमाणे लिहीता येतो

बलाचे एकक = क्ष × १ पुंज × १ त्वरण.

समीकाराच्या दोन पक्षांची अर्हा समान राहण्यास क्ष ची अर्हा १ असली पाहिजे. (क्ष ची अर्हा मापन पद्धतीवर अवलंबून आहे हे मागे सांगितलेच आहे) ज्या बलाने एक धान्य पुंजास $\frac{(१ \text{ शि. मा})}{(१ \text{ का.})^{२}}$ इतके त्वरण उत्पन्न होते त्या बलास शि. धा का. पद्धतीतील एकक मानून बलाच्या या एककास 'धावल' (dyne) संज्ञा योजिली आहे

$$१ \text{ धावल} = १ \text{ धान्य} \times १ \text{ त्वरण} = १ \text{ धान्य} \times \frac{१ \text{ शि. मा.}}{(१ \text{ का.})^{२}}$$

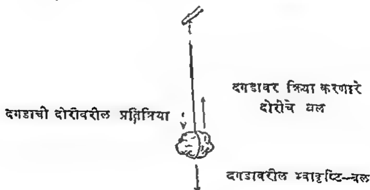
याचप्रमाणे, ज्या बलाने १ प्राजलि पुंजात $\frac{(१ \text{ पाद})}{(१ \text{ का})^{२}}$ इतके त्वरण होते, त्या बलास पाद प्राजलि कालिका पद्धतीतील बलाचे एकक मानतात ह्या एककाला 'प्रावल (poundal) अशी संज्ञा आहे

गतिविषयक पहिल्या दोन नियमाच्या विवरणात एका वस्तूच्या स्थिर स्थितीत अथवा गतीत दुसऱ्या वस्तूच्या उपस्थितीमुळे परिवर्तन होत असल्यास, या परिवर्तनाचे कारण दुसऱ्या वस्तूच्या बलाची पहिल्या वस्तूवर क्रिया होते, अशी भाषा योजली आहे त्याच भाषेचा अवलंब करून गतिविषयक तिसऱ्या नियमाचे विवरण करता येईल

क वस्तूच्या व बलाची ख वस्तूवर क्रिया होत असेल तर ख वस्तूच्याहि बलाची क वर प्रतिक्रिया होते आणि या दोन बलांच्या मात्रा समान असून त्यांच्या दिशा विरुद्ध असतात या नियमाची सत्यता खालील उदाहरणावरून दिसून येईल.

शतघ्नीतून (gun) गोळी सुटतांना गोळीवरील बल शतघ्नीवरील बलाइतके असल्याने, गोळी सुटतें वेळी शतघ्नीलाहि विरुद्ध दिशेने धक्का मिळतो

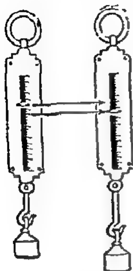
एखाद्या वस्तूच्या स्थिर स्थितीचा अथवा गतिपरिवर्तनाचा विचार करताना त्या वस्तूवर किती बलांचा प्रयोग होतो याचाच विचार करतात. परंतु त्या वस्तूचे दुसऱ्या इतर वस्तूंवर कशा प्रकारचे बल आहे याचा विचार करावयाचा नसतो; उदाहरणार्थ, दोरीने टांगलेला दगड स्थिर असण्याचे कारण दोरीचे बल दगडाला वर ओढते आणि भ्वाकृष्टि-बल दगडाला विरुद्ध दिशेने खाली ओढते. या बलांच्या अहा समान असून त्यांच्या दिशा विरुद्ध असल्याने बलांचे समतोलन होऊन दगड स्थिर असतो असे दिसते. (आकृति २–२ पाहा) या विवेचनात दोरीवरील दगडाच्या प्रतिक्रियेचा विचार करीत नाहीत.



आ. २–२

पुंज आणि भार (weight)

वस्तूतील द्रव्यराशीला 'पुंज' ही संज्ञा आहे हें मागें





आ २–३

सांगितलेच आहे. स्पन्दतुलेच्या (spring balance) साहाय्याने आकृति २–३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे एका लोखंडी गोळ्याचे भारवाचन घ्या. हे वाचन लोखंडी गोळ्याचा भार दर्शविते. लोखंडी गोळ्याजवळ पण त्यास स्पर्श न करिता लोहचुंबक आणल्यास स्पन्दतुलेने दर्शविलेले भाराचे वाचन वाढते. लोखंडी गोळ्यातील द्रव्य-राशीत परिवर्तन न होता त्या गोळ्याचा भार मात्र वाढलेला दिसतो. वरील प्रयोगातील भाराचे प्रत्यक्ष परिवर्तन (apparent change) चुंबकीय आकर्षणामुळे होते. यावरून भाराची महती आकर्षणावर अवलंबून आहे असे अनुमान निघते.

वस्तूचा भार भा ने दर्शविल्यास,

भा = पृथ्वीचे वस्तूवरील आकर्षणबल
= वस्तुपुंज × गुरुत्वप्रवेगत्वरण
= पु × भू

वरील समीकारावरून वस्तूचा पुंज आणि तिचा भार यांतील भेद लक्षात येईल. गुरुत्वप्रवेग स्थानपरत्वे बदलतो म्हणून स्पन्दतुलेने मापलेला वस्तूचा भार स्थानपरत्वे भिन्न असू शकेल; परंतु, वस्तूचा पुंज मात्र स्थानांतराने बदलत नाही. बलाच्या मापनाकरिता १ धान्य भार हे एकक योजल्यास १ धान्यभाराची अर्थी धि धा भा. एककात पुढीलप्रमाणे दाखविता येईल

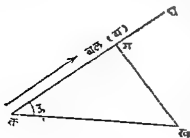
१ धान्यभार = १ धान्य × भृ त्वरण
= भू × १ धान्य × १ त्वरण
= भू × १ धावल
त्याचप्रमाणे १ प्राजलीभार = भू × १ प्रावल

कर्म

रिकामी गाडी ओढण्यास जे परिश्रम लागतात त्यापेक्षा भरलेली गाडी ओढण्यास जास्त परिश्रम लागतात, आणि गाडी ओढण्याचे अंतर वाढविल्यास परिश्रमाचे मान वाढते हा अनुभव सर्वांच्या परिचयाचा आहे. यावरून बलाच्या प्रयोगाने वस्तूचे विस्थापन करण्यास परिश्रम करावे लागतात असे दिसते. भौतिकीत वरील प्रकारचे परिश्रम या अर्थी कर्म (work) ही संज्ञा योजिली आहे कर्माचे मापन पुढीलप्रमाणे करतात.

कर्म = बल × वस्तूतील ज्या बिंदूवर बलाचा प्रयोग होत असतो त्या बिंदूचे बलाच्या दिशेने होणारे विस्थापन.

भरलेली गाडी ओढताना जास्त परिश्रम होतात, (कारण भरलेली गाडी ओढण्यास जास्त बल लावावे लागते) हा अनुभव वरील कर्ममापनात दर्शविला आहे. तसेच विस्थापन वाढल्याने कर्माची (परिश्रमाची) अर्हा वाढते हाहि अनुभव कर्ममापनात समाविष्ट झाला आहे.



आ. २-४

एखाद्या वस्तूचे विस्थापन बलाच्या दिशेव्यतिरिक्त इतर दिशेने होत असल्यास बलाच्या दिशेवर त्या विस्थापनाचा निक्षेप (projection) घ्यावा. आकृति २-४ मध्ये कख या विस्थापनाची दिशा बलाच्या

कच दिशेशी ऊ कोन करते आणि कम चा कच वरील निक्षेप कग आहे. अशा स्थितीत,

कर्म = व × कग.　　　　(परंतु कग = कम × कोज्या ऊ.)

∴ कर्म = व × कम × कोज्या ऊ.

विस्थापन बलाच्याच दिशेने होत असल्यास बलाचे कर्म धन मानावे आणि बलाच्या विरुद्ध दिशेने विस्थापन झाल्यास ते कर्म ऋण मानावे. शि धा का पद्धतीत १ धावल बलाने, बलाच्या दिशेने वस्तूचे १ शि. मा विस्थापन करण्यास लागणारे कर्म हें कर्ममापनाचे एकक मानले आहे, आणि ह्या एककास १ श्रम (erg) ही संज्ञा आहे. पा. प्रा. क्ष. पद्धतीत १ प्रावल बलाने बलाच्या दिशेने वस्तूचे विस्थापन १ पाद झाल्यास १ एकक कर्म झालें असें मानले आहे. कर्मांच्या या एककाला १ पाद प्रावल (foot poundal) ही संज्ञा आहे.

श्रम हे एकक फार लहान आहे म्हणून व्यवहारात १ कोटिश्रम (joule) हेंहि एकक वापरलें जाते.

१ कोटिश्रम = $१०^{७}$ × १ श्रम

अथवा, १ कोटिश्रम = $१०^{७}$ श्रम

शक्ति

उद्योगी मनुष्य थोड्या वेळात जेवढें काम करील तेवढेंच काम आळशी मनुष्य रेंगाळत दिवसभरात करील तथापि कामकऱ्याची चाचणी घेऊन थोड्या वेळात काम करणाऱ्याचीच आपण निवड करतो. यावरून, असे दिसून येईल की, व्यवहारात कर्म करण्याची शीघ्रता आपण लक्षात घेतो. रहाटापेक्षा उदचाने (pump) विहिरीचे पाणी लवकर काढता येतें तेव्हा शक्य असल्यास आपण विहिरीवर उदच बसवितो. वरील उदाहरणावरून यंत्राची उपयुक्तता ठरवितांना त्या यंत्राच्या माहात्म्याने किंवा शीघ्रतेने काम

(कर्म) होतें ह्याचाहि आपण विचार करतो. कर्म करण्याच्या क्षमतेला शक्ति (power) ही संज्ञा योजिल्यास,

$$\text{शक्ति} = \frac{\text{कर्म}}{\text{कर्म करण्यास लागणारा काल}}$$

प्रतिकाष्ठिकेत १ कर्म ही शक्ति शि. धा. का. मापन पद्धतीत शक्तीचे एकक मानले आहे.

$$\text{शि. धा. का. पद्धतीत शक्तीचे एकक} = \frac{\text{१ कर्म}}{\text{१ काष्ठिका}}$$

$\text{पा. प्रा. का. पद्धतीत} = \frac{\text{१ पा. प्राजली कर्म}}{\text{१ काष्ठिका}}$ हे शक्तीचे एकक मानलें आहे.

शि. धा. का. पद्धतीतील शक्तीचे हे एकक लहान असल्यामुळे प्रतिकाष्ठिकेत १ कोटिश्रम हे शक्तीचे एकक व्यवहारात रूढ आहे. या एककाला १ ओज (watt) ही संज्ञा आहे.

$$\text{१ ओज} = \frac{\text{१०}^{\text{७}}\text{. १ श्रम}}{\text{१ काष्ठिका}} = \text{१०}^{\text{७}} \times \text{शक्तीचे एकक}$$

१००० ओज = १ सहस्र ओज (kilowatt) हेंहि शक्तीचे एकक उपयोगात आणतात. अमुक यंत्र (engine) १५ अश्वशक्तीचे (horse power) आहे असे आपण म्हणतो या वाक्यातील अश्वशक्ति या शक्तिमापनाच्या एककाचा अर्थ पुढीलप्रमाणे आहे.

$$\text{१ अश्वशक्ति} = \frac{\text{५५०} \times \text{१ पा. प्रा.}}{\text{१ का.}}$$

$$\text{१ पाद} = \text{१२ प्रांगुल} = \text{१२} \times \text{२.५४ शि. मा.}$$

१ पाउंड = ४५३.६ ग्राम

यावरून,

$$१ \text{ अश्वशक्ति} = ५५० \times १२ \times २.५४ \times ४५३.६ \times ९८१ \times \frac{१ \text{ श्रम}}{१ \text{ कालिका}}$$

$$= \frac{५५० \times १२ \times २.५४ \times ४५३.६ \times ९८१}{१०^{७}} \times \frac{१ \text{ कोटिश्रम}}{१ \text{ कालिका}}$$

$$= ७४६ \text{ वाट}$$

ऊर्जा

आगगाडी आपल्या मार्गावर स्थिर असल्यास काही कर्म करू शकत नाही परंतु ती गतिमान असताना गचकी किंवा धक्का बसला तरी एकदम स्थिर न होता तिची गति क्रमाक्रमाने कमी होते. यावरून, रूळमार्ग (rail) आणि चाक यांतील घर्षण, चाक व त्याचे आस (bearing) यामधील घर्षण, वायुमंडलाचा विरोध इत्यादि रोधक बलांच्या विरुद्ध गतिमान आगगाडी कर्म करू शकते. घड्याळाचा स्प्रिंग किल्लीने घट्ट गुंडाळल्यास पूर्वस्थितीवर येताना तो स्प्रिंग घड्याळ चालविण्यास लागणारे कर्म करू शकतो. हे आणि यासारखे इतर अनुभव लक्षात घेता वस्तु गतिमान असल्यास अथवा काही विशिष्ट स्थितीत असल्यास तिला कर्म करण्याचे सामर्थ्य आहे असे दिसते. कर्म करण्याच्या या सामर्थ्याला 'ऊर्जा' (energy) ही संज्ञा आहे आणि ऊर्जेचे मापन कर्माने करतात. गतिमान वस्तूला 'गति-ऊर्जा' (kinetic energy) आहे असे म्हणतात. उदाहरणार्थ, पाणचक्की (water mill) आणि पवनचक्की (wind mill) अनुक्रमे पाण्याचा प्रवाह आणि वाहता वायु

याच्या गति–ऊर्जेने कर्म करतात. विशिष्ट स्थितीमुळे कर्म होत असल्यास; त्या ऊर्जेस 'स्थिती–ऊर्जा' ही संज्ञा आहे; उदाहरणार्थ, घड्याळाच्या गुंडाळलेल्या स्वन्दाला स्थिति–ऊर्जा असते.

गति–ऊर्जेचे मापन कसे करतात हे खालील विवेचनावरून समजेल.

समजा पु पुंजाचा प्रवेग व आहे आणि ब रोधबलामुळे ती वस्तु प्रवेगाच्या दिशेने दू अंतर आक्रमून स्थिर होते. येथे रोधबलाने होणारे त्वरण ऋण चिन्हाने दर्शविले आहे समीकार २–३ प्रमाणे व हा आद्य प्रवेग आणि वे हा अंतिम प्रवेग असल्यास,

$$\text{वे}^{\text{२}} = \text{व}^{\text{२}} - \text{२ त्व दू}$$

या उदाहरणात वस्तु स्थिर होत असल्यामुळे, वे = ०

$$\therefore \text{व}^{\text{२}} = \text{२ त्व दू}$$

परन्तु

$$\text{ब} = \text{पु. त्व}$$

म्हणून

$$\text{त्व} = \frac{\text{ब}}{\text{पु}}$$

$$\therefore \quad \text{व}^{\text{२}} = \text{२}\frac{\text{ब}}{\text{पु}} \times \text{दू}$$

$$\therefore \quad \frac{\text{१}}{\text{२}}\text{पु व}^{\text{२}} = \text{ब दू} \qquad \text{(स २–७)}$$

ब रोधबलाच्या विरुद्ध स्थिर वस्तूचे दू हे विस्थापन झाल्याने (ब×दू) इतके कर्म करण्याचे सामर्थ्य गतिमान वस्तूत असते. यावरून, गतिमान वस्तूची ऊर्जा = वस्तूची गति-ऊर्जा

$$= \frac{\text{१}}{\text{२}}\text{ पु व}^{\text{२}} \qquad \text{(स २–८)}$$

$$\therefore \text{गतिमान वस्तूची गति-ऊर्जा} = \frac{\text{१}}{\text{२}}\text{ वस्तुपुंज} \times (\text{प्रवेग})^{\text{२}}$$

वस्तूचा अंतिम प्रवेग शून्य न होता वे इतका झाल्यास,
गति-ऊर्जेतील परिवर्तन=½ पु वे² – ½ पु व² = ½ पु (वे² – व²).
पृथ्वीवरील एका स्थानापासून दुसऱ्या उच्च स्थानावर वस्तु ठेवण्यास वस्तूवर कराव्या लागणाऱ्या कार्याचे गणन पुढे दर्शविल्याप्रमाणे करता येईल

गुरुत्वाकर्षण बलाच्या विरुद्ध दिशेने पु पुंज, छ अंतरातून विस्थापित केल्यास,

कार्य = गुरुत्वाकर्षण बल × बलाच्या दिशेतील विस्थापन
= (पु × मु) × छ
= पु × मु × छ

हे कार्य त्या वस्तूत साठविले असते (पु. मु छ) ही गुरुत्वाकर्षण बलाच्या क्षेत्रातील स्थानांतराने साठविलेली ऊर्जा आहे सामान्यतः वस्तूच्या स्थानाची उंची समुद्रसपाटीपासून मोजतात. म्हणून, गुरुत्वाकर्षण बलाच्या क्षेत्रातील वस्तूची ..
स्थिति-ऊर्जा = पु × मु × समुद्रसपाटीपासून वस्तूच्या स्थानाची उंची.

वस्तु पुन: मुक्तपणे खाली पडताना पूर्वस्थानाशी पोचल्यावर तिचा प्रवेग वे असल्यास तिची गति ऊर्जा ½ पु वे² असते. येथे वे² = २ मु छ, कारण आद्य प्रवेग व = ०

वरील समीकरणाच्या दोन्ही पक्षास (½ पु) ह्या राशीने गुणल्यास
½ पु वे² = ½ × पु × २ × मु × छ
= पु मु छ
गति-ऊर्जा = स्थिति-ऊर्जा .... स. २–१

यावरून स्थिति-ऊर्जेचे गति–ऊर्जेत रूपांतर होते आणि या रूपांतरात ऊर्जेची राशी अचल असते असे दिसून येईल.

ऊर्जा-स्थिरता (conservation of energy)

भौतिकीच्या पुढील अध्ययनात ऊर्जेची उष्मोर्जा, रसायनिक ऊर्जा, प्रकाश ऊर्जा, चुंबकीय ऊर्जा, विद्युत् ऊर्जा अशी अनेक रूपें आपणास परिचित होतील. ऊर्जेच्या रूपांतराचे आणखी एक उदाहरण घेऊन हे प्रकरण संपवू. सूर्यप्रकाशातील प्रकाश ऊर्जा, झाडांची मुळें, फांद्या, बुंधे इत्यादींत पर्णहरिताच्या (chlorophyll) साहाय्याने रसायनिक ऊर्जेच्या स्वरूपात साठविलेली असते. लाकडें जाळून त्यांतील रसायनिक ऊर्जेच्या रूपांतराने उष्मा निर्माण होतो यंत्रात त्या उष्म्याच्या योगाने पाण्याचें संपीडित प्रवाष्पात रूपांतर होते. ह्या संपीडित बाष्पाच्या विस्तरणाने यंत्राचा मुसल (piston) ढकलला जातो आणि मुसलाशी योग्य रीतीने जुळणी केलेल्या यंत्राच्या प्रचक्राला परिभ्रमणाची गति मिळते ऊर्जेच्या इतर अनेक रूपांतराच्या अभ्यासावरून असे दिसून आले आहे की, " ऊर्जेचे रूपांतर झालें तरी तिची मात्रा अचल असते " ऊर्जेचा नाश झाल्याचे एकहि उदाहरण सृष्टीमध्ये आढळलेले नाही, आणि सृष्टीतील सर्व घटनांचे ऊर्जेच्या अचल सिद्धांताच्या साहाय्याने समाधानकारक स्पष्टिकरण करता येते हा 'ऊर्जा-स्थिरता' सिद्धान्ताचा (conservation of energy) उत्कृष्ट पुरावा मानण्यात येतो

प्रश्न

(१) (अ) सदिश राशि आणि अदिश राशि यातील भेद स्पष्ट करा

(ब) खालील राशींचे सदिश राशि आणि अदिश राशि असें वर्गीकरण करा-(१) क्षेत्रफळ, (२) घनता, (३) शक्ति, (४) गमता (५) कर्म आणि (६) त्वरण

(२) खालील घटनांचे गतिनियमांच्या साहाय्याने स्पष्टीकरण करा —

(अ) कपडा झटकल्याने त्यावरील धूळ काढता येते

(आ) गतिमान वाहनातून उतरणारी व्यक्ति गतीच्या दिशेकडे तोंड करून जमिनीवर थोडें धावत जाते

(इ) स्थिर वाहन एकदम गतिमान झाल्यास आतील प्रवाशांना गतीच्या दिशेविरुद्ध धक्का बसल्यासा वाटतो

(ई) होडीतून किनाऱ्यावर उडी मारल्यास, किनाऱ्याच्या उलट दिशेला होडी ढकलली जाते

(३) न्यूटनच्या गति-नियमांचे प्रतिपादन करा

विश्राम अवस्थेतील ३० प्राजलीचा एक पुंज अचल बलामुळे गतिमान होऊन ६ काष्ठिकांत त्याचा प्रवेग ३६ पाद/का होत असेल तर त्या बलाची राशि काढा

(४) एक गतिमान वस्तु अचल त्वरणामुळे ३ काष्ठिकांत ८१ पाद अंतर जाते त्यानंतर त्वरण एकदम शून्य होऊन ती वस्तु पुढील ३ काष्ठिकांत ७२ पाद अंतर क्रमण करीत असल्यास आद्य प्रवेग आणि अचल त्वरण यांचे गणन करा

(५) एक वस्तु उदग्रोन्मुख दिशेत, ८० पाद/का या वेगाने फेकली आहे या वस्तूला ६४ पाद उंचीवर जाण्याकरिता किती काळ लागतो? ती वस्तु आरंभ-बिन्दूवर किती वेळाने येईल?

$$(ग = \frac{३२ \text{ पाद}}{\text{का}^2})$$

(६) $वे^2 = व^2 + २ त्व. दृ$;

ह्या समीकार सिद्ध करा. अचल त्वरणाच्या क्रियेने एक वस्तु गतीच्या आरंभापासून ११ व्या आणि १५ व्या काष्ठिकात अनुक्रमे ७२० पाद आणि ९६० पाद अंतर क्रमिते. २० काष्ठिकात त्या वस्तूने क्रमिलेले अंतर काढा.

(७) ५० धान्य पुंजाची वस्तु मुक्तपणे अधोगत सोडली असल्यास तिच्यावरील म्हाकृष्टि बलाच्या राशीचे गणन करा ५ काष्ठिकानंतर तिच्यातील गमता आणि गति-ऊर्जा याचे गणन करा ($भू = ९८०$ दि. मा /$का^2$).

(८) त्वरण, बल आणि गमता याच्या परिमापा द्या.

२० सहस्रिधान्याचा पुंज $\frac{५० \text{ दि. मा.}}{\text{का.}}$ या प्रवेगाने गतिमान आहे.

एका विशिष्ट बलाने १० काष्ठिकात त्याचा प्रवेग $\frac{२०० \text{ दि. मा.}}{\text{का.}}$ झाल्यास बलाची अर्हा काय असावी ? ह्या कालात तो पुंज किती अंतर जातो ?

(९) खिडकीच्या वरच्या भागापेक्षा १ पाद उंचीवरील स्थानावरून एक दगड खाली सोडला आहे. खिडकीच्या चौकटीची उंची ८ पाद असल्यास, चौकटीच्या वरच्या भागापासून खालच्या भागापर्यंतचे अंतर तो दगड किती वेळात क्रमण करील ?

($भू = ९८०$ दि मा /$का^2$)

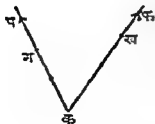
प्रकरण ३

स्थैतिकी

सदिश राशींचें प्रतिरूपण

पुंज, आयाम, इत्यादि राशी, संख्या आणि मापनाचें एकक या दोहोंनी दर्शवितात. विस्थापन, बल, प्रवेग, इत्यादि सदिश राशी, त्यांच्या दिशांना समांतर असणाऱ्या रेषांवरील राशींच्या महत्तेला अनुपाती लांबी घेऊन दर्शविण्याचा प्रघात आहे. या विधीला सदिश राशींचें महत्त्व आणि दिशा 'प्रतिरूपण' (representation) ही संज्ञा आहे. उदाहरणार्थ, वस्तूवर क्रिया करणाऱ्या प, फ बलांचें अनुक्रमे कग, कख या दोन रेषांनी आकृति ३–१ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे प्रतिरूपण केल्यास कग आणि कख या रेषा प, फ बलांच्या क्रियारेषांना समांतर आहेत, आणि

$$\frac{कग}{कख} = \frac{प}{फ}$$



आ ३–१

बलाच्या क्रियेने लवात (particle) होणारे गतिपरिवर्तन अथवा लवावरील बलाचें समतोलन यांच्या अभ्यासात त्या लवाची परिमा बरीच अल्प असल्याने, लवावरील बलाची क्रिया एकाच बिंदूवर होत आहे असे मानण्याचा प्रघात आहे.

बाह्यबलाच्या क्रियेने लोणी, ओल्या मातीचा गोळा, रबर (rubber)

इत्यादि वस्तूच्या आकारांत अथवा परिमेंत परिवर्तन होतें. धातु, कांच इत्यादींच्या वस्तूत हे परिवर्तन बरेच अल्प असते. बाह्यबलाने आकार, परिमा यात परिवर्तन न होणाऱ्या वस्तूस 'अनाम्य (rigid) वस्तु' ही संज्ञा आहे. वास्तविक, सृष्टीत एकहि वस्तु अनाम्य नाही. तथापि अनाम्य वस्तूच्या कल्पनेने यांत्रिकीतील अनेक घटनांचे स्पष्टीकरण सुगम होते.

१ दोन विरुद्ध समान बलांचें समतोलन

वस्तूच्या क बिंदूवर कख या दिशेने प बलाची क्रिया होत असल्यास कख दिशेने वस्तु गतिमान होईल. (न्यूटनचा गतिविषयक पहिला नियम पाहा). या स्थितीत कख च्या विरुद्ध दिशेतील (आकृति संख्या ३-२ पाहा.) फ बलामुळे वस्तूच्या गतीचे परिवर्तन, प बलामुळे वस्तूत होणाऱ्या गतिपरिवर्तना-इतकेच असल्यास क बिंदु स्थिर राहील प आणि फ या बलानी होणाऱ्या गतिपरिवर्तनाच्या अर्हा समान असल्यास, त्या बलांच्याहि अर्हा समान होतील, म्हणजेच प = फ (न्यूटनचा गतिविषयक दुसरा नियम पाहा) यावरून कग दिशेतील फ बलाची अर्हा प बलासमान असलीच पाहिजे हे निश्चित आहे. एकाच बिंदूवर क्रिया करणाऱ्या दोन समान बलांच्या क्रियारेषा एकच असून, बलांच्या क्रियादिशा विरुद्ध असल्यास त्या बलांचे समतोलन होते



आ. ३-२

अनाम्य वस्तूवरील क ख या दोन बिंदूंवर अनुक्रमे गकखघ ह्या सरळ रेषेंत क्रिया करणाऱ्या दोन समान परंतु विरुद्ध दिशा

असणाऱ्या बलाच्या क्रिया होत असल्यास ती अनाम्य वस्तु स्थिर असते. (दोन हातांनी विरुद्ध दिशेने आणि समान बलाने धातूची सळई ओढल्यास ती स्थिर राहते हे आकृति ३-३ मध्ये दर्शविले आहे.)



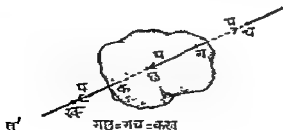
आ ३-३

परिणामी बल

दोन अथवा अधिक बलाच्या क्रियेने वस्तूच्या गतीचे जितके परिवर्तन होते तितकेच गतिपरिवर्तन एका विशिष्ट बलाने होत असल्यास या बलाला त्या दोन अथवा अधिक बलाचे 'परिणामी बल' (resultant force) म्हणतात

बल-पारेष्यता
(transmissibility of a force)

आकृति ३-४ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे कख रेषेने महत्त्व



आ ३-४

आणि दिशेत प्रतिरूपित केलेले कर्ष दिशेतील प बल अनाम्य वस्तूच्या क बिंदूवर क्रिया करते खक ही रेषा वाढवून तीवरील ग या बिंदूवर गच = प आणि गछ = प या दोन बलांची क्रिया केल्यास ग येथील समान आणि विरुद्ध बलांनी वस्तूच्या स्थिरस्थितीत अथवा गतीत परिवर्तन होत नाही याचे कारण ग पथील दोन समान आणि विरुद्ध बलांच समतोलन होते अर्थात कख गच गछ या तीन बलांच्या युगपद क्रियेने वस्तूच्या स्थिरस्थितीतील अथवा गतीतील परिवर्तन कख बलाच्या क्रियेने होणाऱ्या परिवर्तनाइतकेच होते परंतु कख आणि गच या बलांच्या अर्हा समान आणि क्रिया-दिशा विरुद्ध असल्याने या दोन बलांचे समतोलन होते, म्हणून कख, गच, आणि गछ या तीन बलांचे परिणामी बल गछ आहे दुसऱ्या शब्दांत सांगायचे म्हणजे कख बल वस्तूवरील त्या बलाच्या क्रियारेषेत असणाऱ्या ग बिंदूवर हालविल्यास वस्तूच्या गतीत कख ने जितके परिवर्तन होते तितकेच परिवर्तन गछ बलाने होईल हे लक्षात येईल या प्रनियमाला 'बलाची पारेष्यता' ही संज्ञा आहे बल-पारेष्यता प्रनियमानुसार अनाम्य वस्तूवरील क बिंदूवर क्रिया करणारे बल त्याच्या क्रियारेषेत असणाऱ्या अनाम्य वस्तूवरील कोणत्याहि ग बिंदूत क्रिया करते असे मानता येते

बलाचा समांतरभुज नियम

(law of parallelogram of forces)

वेगवेगळ्या क्रियारेषा असणाऱ्या दोन बलांची एकाच बिंदूवर क्रिया होत असल्यास या दोन बलांच्या परिणामी बलाची अर्हा आणि क्रियादिशा पुढे दिलेल्या सपरीक्षेने निश्चित करता येते

कखछ, कगच आणि कट या दोरीचे पण पतल्या दोऱ्या क या बिंदूवर बांधून आकृति सख्या ३–५ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे कखछ

आ ३–५

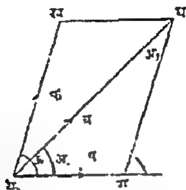
आणि कगच या दोन्या संघर्षहीन (frictionless) आढ्यांवरून खाली सोडल्या आहेत च, ट आणि छ येथील पारड्यात निरनिराळे भार टाकून अनुक्रमे कग, कट, कख या दिशानी क वर क्रिया करणाऱ्या बलाच्या अहीत परिवर्तन करता येतं. ट पारडें हातात धरून च आणि छ पारड्यात अनुक्रमे कोणतेहि $प_{१}$ आणि $फ_{१}$ भार टाका. यानतर ट पारड्यातील भार क्रमाक्रमाने वाढवून च, ट आणि छ ही पारडी मुक्त असताना, क स्थिर होण्यास ट पारड्यात कोणता भार टाकावा हे निश्चित करा. कच्या स्थिरस्थितीत च, ट, छ मधील भार अनुक्रम $प_{१}$, $ब_{१}$ आणि $फ_{१}$ ने दर्शविल्यास, त्या भारबलाची क्रिया अनुक्रमे कग, कट आणि कख दिशानी होते, हें लक्षात येईल. $प_{१} \times मू = प$ तसच $फ_{१} \times मू = फ$ आणि $ब_{१} \times मू = ब$ इत्यादींनी ही भारबलें दर्शवून कागदावर कग, कख आणि कट याना अनुक्रमे समानर असलेल्या क'ग', क'ख' आणि क'ट' रेषावर क'ग', क'ख'

आणि क'ट' याचे आयाम अनुक्रमे प, फ, आणि ब बलाच्या अहाँना अनुपाति घेऊन क'ख'ग'घ' हा समांतर भुज साधा. या समांतर भुजाचा क'घ' विकर्ण आणि क'ट' रेषा एकाच सरळ रेषेत असून,

$$\frac{क'ग'}{प}=\frac{क'ख'}{फ}=\frac{क'घ'}{ब}$$

असे प्रत्यक्ष गणनावरुन आढळून येईल यावरून क'घ' रेषत ब बलाच्या समान असलेल्या परंतु ब च्या विरुद्ध दिशेने क्रिया करणाऱ्या बलाचे क'घ' हे प्रतिरूपण आहे असे मानता येईल प, फ आणि ब या तीन बलाच्या युगपद् क्रियेने क स्थिर आहे यावरून त्यांपैकी कोणत्याहि दोन बलांचे परिणामी बल तिसऱ्या बलाच्या अर्हतेचे आणि विरुद्ध दिशेने क्रिया करणारे असले पाहिजे म्हणून प, फ यांचे परिणामी बल ब च्या अर्हतेचेच आणि ब च्या विरुद्ध दिशेने क्रिया करणारे म्हणजेच आकृतीत दाखविलेले क'घ' बल होय हे लक्षात येईल सपरीक्षेतील वाचनावरून काढलेल्या समांतर भुजातील क'घ' विकर्ण क'ट' च्या रेषेत असून, या विकर्णांची लांबी ट पारड्यातील भाराशी अनुपाति असल्याची प्रचिती येईल ही प्रचिती पुढील समांतरभुज नियमात दर्शविली आहे.

'एकाच बिंदूवर क्रिया करणाऱ्या दोन बलांच समांतरभुजाच्या दोन सलग्न भुजांनी अर्हता आणि क्रियादिशा प्रतिरूपण केल्यास, त्या सलग्न भुजांच्या छेदन बिंदूतून जाणाऱ्या विकर्णात बलाच्या परिणामी बलाचे, अर्हता आणि क्रियादिशा प्रतिरूपण होते" विकर्णाने प्रतिरूपित केलेल्या या बलाला वरील दोन बलांच 'परिणामी बल' म्हणतात आणि या दोन बलांना परिणामी बलाची 'घटक (component) बल' म्हणतात प आणि फ या घटक-बलामधील कोन ऊ असून या बलाचे परिणामी बल ब असल्यास,



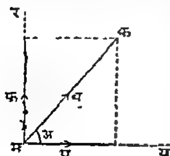
आ. ३–६

$$ब^{२} = प^{२} + फ^{२} + २\, प.\, फ \times कोज्या\ (ऊ)$$

त्याचप्रमाणे, $\dfrac{मग}{प} : \dfrac{मख}{फ} : \dfrac{मघ}{ब}$

$$\therefore \quad \frac{फ}{ज्या\ अ_{२}} = \frac{प}{ज्या\ अ_{१}} = \frac{ब}{ज्या\ (अ_{२} + अ_{१})} = \frac{ब}{ज्या\ (ऊ)}$$

असे सिद्ध करता येईल. आकृति ३–६ पाहा.



आ. ३–७

बलाच्या समांतरभुज नियमाच्या विलोमक्रमाने (conversely) ब बलाचे मर, मय दिशेंत विघटन केल्यास त्या दिशेंतील घटक अनुक्रमे फ आणि प आहेत अशी बल-विघटनासंबंधी भाषा रूढ आहे.

मक दिशेंतील ब बलाचे विघटन दोन परस्परांशी लंब असलेल्या दिशांत केल्यास, आकृति ३–७

मधील मय आणि मर दिशातील ब ची घटक-बले अनुक्रमे प आणि फ असल्यास,

ब कोज्या (अ) = प

ब ज्या (अ) = फ

ब² = प² + फ²

परस्पराशी लव असलेल्या दिशातील घटकास 'बलाचे विघटक' (resolved parts of a force) अशी संज्ञा आहे

वरील विघटनाचा भौतिकीतील गणनात उपयोग करतात. उदाहरणार्थ, (आकृति संख्या ३–८ पाहा) कग दिशेने क्रिया करणाऱ्या ब बलाने क या क्रियाबिंदूचे कख दिशेत ख बिंदूपर्यंत विस्थापन झाल्यास, या विस्थापनात होणारे कर्म (ब × कक') या राशीने दर्शवितात कक' हा कख विस्थापनाचा कग या बलाच्या दिशेवरील प्रक्षेप होय आकृति ३–८ पाहा



आ ३–८

या विस्थापनातील कर्माचे गणन पुढीलप्रमाणे करतात–

कर्म = ब × कक' = ब × कख × कोज्या ऊ

= ब × कोज्या ऊ × कख

= ब चा विस्थापनाच्या दिशेतील विघटक × विस्थापन

विस्थापन, प्रवेग, त्वरण इत्यादि सर्व सदिश राशींचे संघटन (composition) समांतर भुजाच्या वरील नियमानुसार करतात

बलांचा त्रिकोण (triangle of forces)

एकाच बिंदूवर क्रिया करणाऱ्या दोन बलांच्या परिणामी बलाचे निश्चयन करणाऱ्या परीक्षेत क बिंदूवर क्रिया करणारी प फ आणि ब ही तीन बले समतुलीत राहतात हे आपण पाहिलेच आहे (आकृति ३-५ पाहा). या स्थितीत क'ग'घ' या त्रिकोणाच्या क्रमशः घेतलेल्या भुजांनी अनुक्रमे फ, प आणि ब यांचे महत्तेत आणि क्रियादिशेत प्रतिरूपण करता येते असे दिसून येईल. विलोम क्रमाने, एकाच बिंदूवर क्रिया करणाऱ्या तीन बलांचे त्रिकोणाच्या क्रमशः घेतलेल्या तीन भुजांनी प्रतिरूपण करता आल्यास ही तीन बले समतुलित असतात, असे निश्चितपणे म्हणता येईल. एकाच बिंदूवर क्रिया करणाऱ्या तीन समतुलीत बलांच्या प्रतिरूपणाने साधलेल्या त्रिकोणास 'बलांचा त्रिकोण' अशी संज्ञा आहे.

बलांचा बहुभुज (polygon of forces)

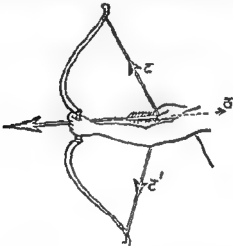
एकाच बिंदूवर क्रिया करणाऱ्या अनेक बलांचे, बहुभुजाच्या क्रमशः घेतलेल्या भुजांनी महत्तेत आणि क्रियादिशेत प्रतिरूपण करता आल्यास ती बले समतुलित असतात हे सिद्ध करता येईल. आकृति ३-९ मध्ये दर्शविलेल्या अ बिंदूवर क्रिया करणाऱ्या प, फ, ब, भ, म बलांचे अनुक्रमे कख, खग, गघ इत्यादींनी प्रतिरूपण करून कखगघच हा



आ ३-९

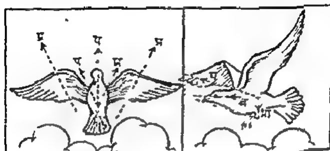
बहुभुज साधिला आहे. कख आणि खग याचे परिणामी बल कग येईल. तसेच कग आणि गघ याचे परिणामी बल कघ होईल. कघ आणि घच चे परिणामी बल कच हें चक या बलाशी समान परंतु विरुद्ध दिशेने आहे म्हणून कच आणि चक याचे समतोलन होते. यावरून प, फ, ब, भ आणि म या सर्व बलांचे समतोलन होते. कखगघच या आकृतीस 'बलाचा बहुभुज' म्हणतात.

धनुष्याला बाण लावून तो आकृतिमध्ये ३-१० मध्ये दाखविल्याप्रमाणे मागे ओढल्यास बाण सोडण्यापूर्वी दोरीच्या दोन



आ ३-१०
भागावरील ट आणि ट' या बलाचे बाण मागे ओढणाऱ्या हाताच्या ठ या बलाने समतोलन होते बाणावरील हात काढताच ट, आणि ट' या दोन बलाच्या परिणामी बलाने बाणाला प्रणोद (impulse) मिळतो

पक्षी उडताना आपले पंख हलवून वायु मागे लोटतो. या वायूची पंखावरील प्रतिक्रिया प्र ने दर्शविल्यास आकृति मध्ये ३-११ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे प हे या प्रतिक्रियांचे परिणामी बल



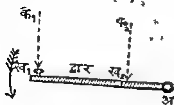
आ. ३-११

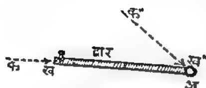
आहे. प हे परिणामी बल आणि पक्ष्याचे भ्वाकृष्टि बल या दोहोंच्या व या परिणामी बलाच्या दिशेत पक्ष्याची गति असते. वायुचे उत्प्लाविता (buoyancy) बल अल्प असल्याने वरील विवरणात ते उपेक्ष्य मानले आहे. तसेच या विवरणात बल पारेष्यता गृहित आहे पोहण्याच्या क्रियेचे स्पष्टिकरणहि वरीलप्रमाणेच आहे. पोहणाऱ्याच्या हातपाय हलविण्याच्या क्रियेने त्यावर पाण्याची प्रतिक्रिया होते या प्रतिक्रियेचे परिणामी बल प, पोहणाऱ्याचे भारबल आणि उर्ध्वोन्मुख उत्प्लाविता बल या तीन बलाच्या परिणामी बलाची दिशा पाण्याच्या पृष्ठतलात असल्याने पोहणारा पृष्ठतलातील या परिणामी बलाच्या दिशेत पुढे जातो

बल-निभ्रमिया

(moment of a force)

दार किंवा फाटक उघडताना आणि बंद करताना दाराच्या किंवा फाटकाच्या पातळीशी अभिलंब दिशेने आपण बलाची क्रिया





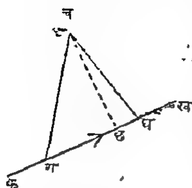
आ. ३–१२ (आ)

करतो; तसेच दार, फाटक इत्यादि फार जड असल्यास बिजागरीपासून शक्य तितक्या लांब अंतरावर आपण बलाची क्रिया करतो आकृति संख्या ३–१२ (१) पाहा. बलाची दिशा $क_1$ $ख_1$ किंवा $क_2$ $ख_2$ असल्यास दार अ मधून जाणाऱ्या अक्षाभोवती फिरते. परंतु बलाची दिशा क'ख' अथवा क"ख" असल्यास, दार (अ) अक्षाभोवती फिरू शकत नाही. आकृति संख्या ३–१२ (आ) पाहा बलाच्या क्रियेने वस्तूत एखाद्या अक्षाभोवती फिरण्याची प्रवृत्ति उत्पन्न झाल्यास या प्रवृत्तीस बलाची त्या अक्षाभोवतीची 'विभ्रमिषा'(moment)म्हणतात. क' ख' आणि क" ख" इत्यादि बलांनी दार अ अक्षाभोवती फिरत नाही याचे कारण ह्या बलाच्या क्रियारेषा अ अक्षामधून जातात. $क_1$ $ख_1$ इत्यादि बले अ पासून जितक्या लांब अंतरावर लावावीत तितक्या सुलभपणे दारात परिभ्रमणाची गति उत्पन्न होते.

(बल × अक्षावरून बलाच्या दिशेवर टाकलेला लंब) या गुणन-फलाने बल–विभ्रमिषेचे गणन केल्यास वरील सर्व अनुभव बल–विभ्रमिषेच्या गणनात समाविष्ट होतात.

बिंदूभोवतीची बल-विभ्रमिषा

बलाची दिशा आणि बिंदु यांच्या पातळीशी अभिलंब असलेला आणि त्या बिंदूतून जाणारा अक्ष कल्पिल्यास, त्या अक्षाभोवतीच्या



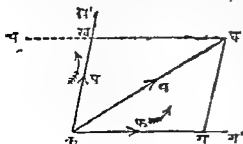
आ. ३–१३

वज–विभ्रमिपेला त्या विंदूभोवतीची विभ्रमिपा असें म्हणण्याचा संकेत आहे. आकृति संख्या ३–१३ मध्यें दर्शविलेल्या कख दिशेनें ब बलाची क्रिया होत असल्यास, ब बलाची च या विंदूभोवतीची विभ्रमिपा = ब × चछ, ह्यात चछ हा च बरून कख दिशेवर काढलेला लंब होय. ब बलाचे प्रतिरूपण गघ ह्या रेषेनें केल्यास,

ब ची च भोवतीची विभ्रमिपा = गघ × चछ = २ × Δ गघच चे क्षेत्रफळ.

अशा रीतीनें बल विभ्रमिपेचें प्रतिरूपण करता येते बलाच्या योगानें उत्पन्न झालेल्या परिभ्रमणाची प्रवृत्ति प्रतिघटिवत् (anticlockwise) अथवा घटिवत् (clockwise) असल्यास बल विभ्रमिपा अनुक्रमें धन अथवा ऋण मानण्याचा प्रघात आहे.

घटक बलाच्या पातळीतील कोणत्याहि विंदूभोवतीच्या त्यांच्या



आ ३–१४

विभ्रमिपाच्या बैजिक योगाइतकी त्या बलाच्या परिणामी बलाची ही विभ्रमिपा असते. हे पुढीलप्रमाणे गणिताच्या साहाय्यानें सिद्ध करता येते. क विंदुत क्रिया कर-

ज्याच्या प आणि फ या दोन बलांच्या क्रियारेषा अनुक्रमे पख' आणि कग' यांनी दर्शविल्या आहेत (आकृति ३–१४ पाहा) ख'कग' ह्या कोनाबाहेर असलेल्या च बिंदूतून कग' ला पख ही समांतर रेषा काढून, $\frac{\text{पख}}{\text{कग}}=\frac{\text{प}}{\text{फ}}$ या प्रमाणात कग ची लांबी निश्चित करावी नंतर कखघग हा समांतर भुज साधावा. समांतर भुजाच्या बलासंबंधी नियमावरून,

$$\frac{\text{प}}{\text{पख}}=\frac{\text{फ}}{\text{कग}}=\frac{\text{परिणामी बल, ब}}{\text{कघ}}=\text{क्ष}$$

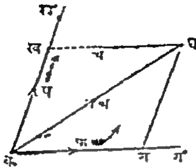
फ बलाची च भोवती विभ्रमिषा $=$ क्ष $\times$ २ Δ कगच

प बलाची च भोवती विभ्रमिषा $=$ क्ष $\times$ २ Δ कखच

या विभ्रमिषा प्रतिघटिवत् असल्याने प आणि फ यांची च भोवती विभ्रमिषा $=$ क्ष $\times$ २ (Δ कगच $+$ Δ कखच)
$=$ क्ष $\times$ २ (Δ कगघ $+$ Δ कखच)
कारण Δ कगच $=$ Δ कगघ
$=$ क्ष $\times$ २ (Δ कखघ $+$ Δ कखच)
कारण Δ कगघ $=$ Δ कखघ

ब ची च भोवती विभ्रमिषा $=$ क्ष $\times$ २ Δ कघच, यावरून,
प आणि फ ह्यांची च भोवतीची विभ्रमिषा
$=$ ब ची च भोवतीची विभ्रमिषा

आकृति संख्या ३–१५ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे दोन बलांच्या क्रियारेषांच्या कोनात च बिंदु असल्यास प आणि फ यांच्या च भोवतीच्या विभ्रमिषा अनुक्रमे धन आणि ऋण आहेत, म्हणून,



आ. ३-१५

परिणामी विभ्रमिषा = फ ची विभ्रमिषा − प ची विभ्रमिषा
= क्ष × २ Δ कगघ − क्ष × २ Δ कखघ
= क्ष × २ Δ कघच = ब या परिणामी बलाची विभ्रमिषा

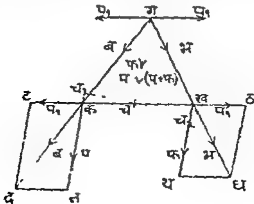
प, फ बलांच्या ब या परिणामी बलाच्या क्रियारेषेवरील कोणत्याहि बिंदूभोवती प आणि फ यांच्या विभ्रमिषा समान आणि विरुद्ध असतात, हे वरील तर्कपद्धतीचा अवलंब करून सिद्ध करता येईल.

समांतर बलें
(parallel forces)

दोन समांतर बलांची कार्यदिशा एकच असल्यास त्यास सजातीय (like) समांतर बले म्हणतात परंतु त्यांच्या क्रियादिशा विरुद्ध असल्यास त्यास विजातीय समांतर (unlike parallel) बले म्हणतात. अनाम्य वस्तूच्या क आणि ख या दोन बिंदूवर प आणि फ या समांतर सजातीय बलांची क्रिया होत असल्यास या सजातीय

वस्तूचे परिणामी बल पुढीलप्रमाणे निश्चित करता येते. क आणि ख येथे विरुद्ध दिशांनी क्रिया करणारी दोन समान बले योजल्यास अनम्य वस्तूची स्थिति बदलत नाही ही विरुद्ध समान बले $प_1$ ने दर्शवू आकृति संख्या ३-१६ पाहा क बिंदूवर क्रिया करणारी बले प, $प_1$ ही अनुक्रमे कत आणि कट या रेषांनी प्रतिरूपित केली आहेत तसेच ख बिंदूवर क्रिया करणारी बले फ $प_1$ ही अनुक्रमे खथ आणि खठ या रेषांनी प्रतिरूपित केली आहेत. समांतर भुजाच्या नियमाप्रमाणे, कत आणि कट यांचे परिणामी ब बल कद आहे आणि खथ, खठ यांचे परिणामी भ बल खध आहे.

बलपारेष्यता प्रनियमाप्रमाणे कद आणि खध ह्या रेषांच्या ग ह्या छेदन बिंदूत ब आणि भ ही बले हलविल्यास, वस्तूवर होणाऱ्या त्या बलांच्या परिणामात परिवर्तन होत नाही ग येथे कट आणि कत यांच्या समांतर दिशेत ब बलाचे विघटन केल्यास, तसेच खठ आणि खथ यांच्या समांतर दिशेत भ बलाचे विघटन केल्यास,



आ ३-१६

आकृति संख्या ३–१६ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे प_1 आणि प_2 या समान आणि विरुद्ध बलाचे समतोलन होते. ग येथील प आणि फ ह्या बलाची गच ही क्रियादिशा कत आणि खथ ला समांतर असते. यावरून, प आणि फ यांचे परिणामी बल (प + फ) असून त्याची क्रियादिशा प आणि फ यांच्या क्रियादिशांना समांतर असते.

Δ कदत आणि Δ गकच हे आनुपातिक (*proportional*) आहेत म्हणून,

$$\frac{\text{कत}}{\text{दत}} = \frac{\text{गच}}{\text{चक}}$$

$$\text{तसेच } \frac{\text{प}}{\text{प}_1} = \frac{\text{कत}}{\text{दत}} \text{ असल्यामुळे, } \frac{\text{प}}{\text{प}_1} = \frac{\text{गच}}{\text{कच}}$$

त्याचप्रमाणे Δ खथप आणि Δ खगच हे आनुपातिक असल्याने,

$$\frac{\text{फ}}{\text{प}_2} = \frac{\text{गच}}{\text{चख}}$$

यावरून,

$$\frac{\dfrac{\text{प}}{\text{प}_1}}{\dfrac{\text{फ}}{\text{प}_2}} = \frac{\dfrac{\text{गच}}{\text{चक}}}{\dfrac{\text{गच}}{\text{चख}}} = \frac{\text{चख}}{\text{चक}}$$

$$\therefore \frac{\text{प}}{\text{फ}} = \frac{\text{चख}}{\text{चक}}$$

परिणामीबलाची अर्हा (प+फ) असते आणि त्याची क्रियारेषा कख रेषेला बलाच्या प्रतीप अनुपातात (inverse proportion)

अंतरत. (internally) छेदते परिणामी बलाच्या गच या रेषेवरील कोणत्याहि बिंदूभोवती प, फ या बलाच्या बिभ्रमिषा समान आणि विरुद्ध असतात आकृति सख्या ३–१६ मध्ये प आणि फ याच्या क्रिया रेषावर च_1, चच_2 ही च मधून लवरेषा काढल्यास,

$$\text{प बलाची च भोवती विभ्रमिषा} = \text{प} \times \text{चच}_1$$

$$(\text{सख्यात्मक अर्हा}) \quad = \text{प} \times \text{कच} \times \text{ज्या} \angle \text{चकच}_1$$

$$\text{फ बलाची च भोवती विभ्रमिषा}$$

$$(\text{सख्यात्मक अर्हा}) \quad = \text{फ} \times \text{चच}_2$$

$$= \text{फ} \times \text{खच} \times \text{ज्या} \angle \text{चखच}_2$$

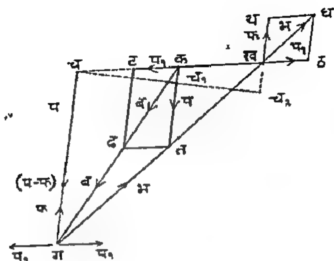
$$\frac{\text{प ची च भोवती विभ्रमिषा (सख्यात्मक अर्हा)}}{\text{फ ची च भोवती विभ्रमिषा (सख्यात्मक अर्हा)}}$$

$$= \frac{\text{प} \times \text{कच} \times \text{ज्या} \angle \text{चकच}_1}{\text{फ} \times \text{खच} \times \text{ज्या} \angle \text{चखच}_2} = १$$

$$\therefore \frac{\text{प}}{\text{फ}} = \frac{\text{खच}}{\text{कच}}$$

वरीलप्रमाणे परिणामी बलाची क्रियारेषा कख रेषेस बलाच्या प्रतीप अनुपातात छेदते असे सिद्ध करता येईल

प आणि स येथील समांतर बले विजातीय असल्यास आकृति सख्या ३–१७ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे कद आणि खघ बलाच्या क्रियारेषांचा छेदन बिंदु ग आहे व आणि भ बलांचा ग हा क्रियाबिंदु समजून त्या बलाचे भागे सांगितल्याप्रमाणे विघटन केल्यास, प आणि फ चे परिणामी बल (प–फ) होईल तसच,



आ ३–१७

$$\frac{\text{प}}{\text{प}_1} = \frac{\text{टद}}{\text{कट}} = \frac{\text{खग}}{\text{खच}} \text{ आणि } \frac{\text{फ}}{\text{प}_1} = \frac{\text{खथ}}{\text{खध}} = \frac{\text{गच}}{\text{चख}}$$

$$\therefore \frac{\dfrac{\text{प}}{\text{प}_1}}{\dfrac{\text{फ}}{\text{प}_1}} = \frac{\dfrac{\text{खग}}{\text{खच}}}{\dfrac{\text{गच}}{\text{चख}}} = \frac{\text{चग}}{\text{खच}} = \frac{\text{प}}{\text{फ}}$$

यावरून, (प – फ) या परिणामी बलाची क्रियारेषा चख रेषेस प आणि फ बलांच्या प्रतीप अनुपातांत बाह्यतः (externally) छेदते

बैलजोडीने ओढलेला नांगर, समर, गाडी इत्यादि समांतर बलांच्या उपयोगाची व्यवहारातील उदाहरणे आहेत

दोनपेक्षा अधिक समांतर बलांची क्रिया वस्तूवर होत असल्यास, प्रथम कोणत्याहि दोन बलांचे परिणामी बल वर दर्शविल्याप्रमाणे निश्चित करावे नंतर हे परिणामी बल आणि उरलेल्या बलांपैकी तिसरे समांतर बल या दोहोंचे परिणामी बल निश्चित करावे. अशा रीतीने क्रमाक्रमाने सर्व समांतर बलांचे परिणामी बल निश्चित करता येते या परिणामी बलाची महत्ता सर्व समांतर बलांच्या बैजिक योगाइतकी (sum) असते आणि या परिणामी बलाची क्रिया ज्या बिंदूवर होते त्या बिंदूस 'समांतर बल केंद्र' (centre of parallel forces) म्हणतात. अनाम्य वस्तूची स्थिर स्थिति अथवा गति, या संबंधीच्या विवेचनांत त्या वस्तूवरील विविध समांतर बलांचा वेगवेगळा विचार न करता, समांतर बल केंद्रावरील परिणामी बलाचाच विचार करतात

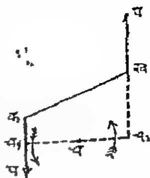
गुर्वाकृष्टि-केंद्र (centre of gravity)

पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील वस्तूच्या सर्व लवांवर गुर्वाकृष्टि-बलाची क्रिया होत असते. या सर्व बलांची दिशा अधोलम्ब असल्याने लवांवरील या बलांचे परिणामी बल म्हणजेच वस्तूचा भार, त्या सर्व बलांच्या योगाइतका असतो. लवांवरील या सर्व बलांच्या समांतर बल केंद्रास त्या वस्तूचे 'गुर्वाकृष्टि-केंद्र' अशी संज्ञा आहे या बिंदूवर गुर्वाकृष्टि-बल केंद्रित आहे असे मानल्याने यांत्रिकीच्या अनेक प्रश्नांच्या विवेचनांत सुगमता येते

बल मिथुन (couple)

अनाम्य वस्तूच्या दोन बिंदूवर दोन समान समांतर विजातीय बलांची क्रिया होत असल्यास त्यांच्या परिणामी बलाची महत्ता (magnitude) (प − प) = ० असते या दोन समान आणि समांतर विजातीय बलास 'मिथुन' ही संज्ञा आहे मिथुनाच्या परिणामी

बलाची महत्ता शून्य असल्याने, मिथुनाच्या क्रियेने वस्तूचे स्थानांतर होऊ शकत नाही तथापि मिथुनाच्या तलातील कोणत्याहि बिंदूभोवती त्या अनम्य वस्तूचे परिभ्रमण होऊ शकते हे पुढील विवेचनावरून लक्षात येईल. आकृति ३-१८ (अ) मध्ये क, ख येथील प, प मिथुनाच्या तलात च हा कोणताहि बिंदु घ्या. बलाच्या क्रियारेषांवर $च च_1$ $च च_2$ लंब काढल्यास क, ख येथील बलाच्या च भोवती विभ्रमिषा प्रतिघटिवत् असतात.

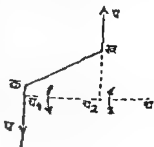


आ. ३-१८ (अ)

$$\text{या बलाची परिणामी विभ्रमिषा} = प \times च च_1 + प \times च_2 च$$
$$= प \times च_1 च_2$$

तसेच, च बिंदु प, प क्रिया रेषांच्या बाहेर आहे असे मानल्यास, आकृति क्रमांक ३-१८ (आ) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे क, ख येथील बलाच्या च भोवती विभ्रमिषा अनुक्रमे प्रतिघटिवत् आणि घटिवत् असल्याने,

परिणामी प्रतिघटिवत् विभ्रमिषा
$$= प \times च च_1 - प \times च च_2$$
$$= प \times च_1 च_2$$



आ ३-१८ (आ)

$च_1 च_2$ हे क ख येथील समान, समांतर विजातीय बलांतील लंबान्तर

आहे, यावरून मिथुनाच्या तलातील कोणत्याहि बिंदू–भोवती त्या मिथुनाची विभ्रमिषा स्थिर असून या विभ्रमिषेची अर्हा (प × मिथुनातील बलाचे लंबान्तर) इतकी असते या विभ्रमिषेला 'मिथुन विभ्रमिषा' (moment of a couple) ही संज्ञा आहे. ताक घुसळण्याच्या रवीभोवती गुंडाळलेल्या दोरीची दोन टोके विरुद्ध दिशानी ओढून, अथवा दोन्ही हाताच्या दोन विरुद्ध बलाच्या क्रियेने आपण मिथुनाचा रवीवर प्रयोग करतो आणि ह्यामुळे रवीला परिभ्रमणाची गति मिळते

संघर्ष (friction)

वस्तु क्षैतिजसमतलावर स्थिर असताना त्या वस्तूचर अधोग भार आणि समतलाची उदग्र प्रतिक्रिया ही समतुलित असतात (आकृति संख्या ३–१९ पाहा) वस्तूला समतलावर घसरण्याची गति दिल्यास ती वस्तु काही अंतरापर्यंत घसरत जाऊन स्थिर होते. यावरून, समतल आणि त्यावर घसरणारी वस्तु याच्या सापेक्ष गतीला विरोध करणारे बल त्या दोहोमधील सस्पर्शाने उत्पन्न होत असले पाहिजे हे लक्षात येईल घसरण्याच्या सापेक्ष गतीला विरोध करणाऱ्या या बलास 'संघर्षबल' ही संज्ञा आहे या बलाची क्रियारेषा समतलाशी समातर आणि गतीच्या विरुद्ध दिशेत असते

संघर्ष बलाचा विस्तारपूर्वक अभ्यास पुढील सपरीक्षेने करता

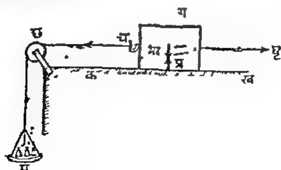


आ ३–१९

येतो. कख या समतलावर ग ही वस्तु ठेवली असून तिला बांधलेला चछ दोरा समतलाला समांतर असून दोऱ्याचा छप भाग छ या घर्षणहीन आकृपीवरून (pulley) अधोमुख सोडलेला असतो. आकृति ३-२० पाहा. प पारड्यात $व_१$ भार टाकल्यास, ($व_१$ × भू) या भारबलाने ग वस्तु आकृपीकडे ओढली जाते. समजा या स्थितीत वस्तु स्थिर असल्यास, वस्तूवरील घर्षणबल, $घ_१ = व_१ \times भू$. पारड्यातील भार क्रमाक्रमाने वाढवीत गेल्यास या भाराच्या एका विशिष्ट मर्यादेपर्यंत ग वस्तु स्थिरच असते मात्र या विशिष्ट मर्यादेपेक्षा पारड्यातील भाराचा अंश थोडासा वाढल्यास, ग वस्तूला कख समतलावर घसरण्याची प्रवृत्ति उत्पन्न होते. क्रमाक्रमाने वाढलेल्या, $व_१$, $व_२$, $व_३$ या भारबलाने वस्तूत गति उत्पन्न होत नसल्याने, $व_१$, $व_२$, $व_३$ यांच्या भारबलाशी घर्षणबलाचा असणारा संबंध पुढे दर्शविल्याप्रमाणे असला पाहिजे.

$$व_१.भू = घ_१,\ व_२.भू = घ_२,\ व_३.भू = घ_३;\ व.भू = घ;$$

यावरून, गतिविरोध घर्षणबल स्वयं-व्यवस्थापी (self-adjusting) आहे असे दिसून येईल.



आ. ३-२०

$\text{व} \times \text{भु} = \text{घु}$ हा समीकार व च्या विशिष्ट मर्यादेपर्यंतच सत्य आहे. ही विशिष्ट मर्यादा व' ने दर्शविल्यास,

$$\text{व}'\,\text{भु} = \text{घु}'$$

पारड्यातील भार व' पेक्षा जास्त वाढल्यास ग वस्तूत गति उत्पन्न करणाऱ्या या वाढत्या भारबलाचे समतोलन होण्याइतके घर्षबल वाढत नाही, म्हणून घर्षबलाची वरील समीकारातील घु' ही महत्तम अर्हा होय. या महत्तम घर्षबलाला 'सीमान्त घर्षबल' (limiting friction) म्हणतात. आणि याची अर्हा वस्तु आणि समतल यांच्या संस्पर्शित तलांच्या गुळगुळीतपणावर अवलंबून असते.

ग वस्तूवर भा_1, भा_2 इत्यादि भार ठेवून वरीलप्रमाणे परीक्षा करून सीमान्त घर्षबलाच्या निश्चित केलेल्या अर्हा अनुक्रमे घु_1, घु_2...असल्यास, आणि समतलाची उदग्र प्रतिक्रिया अनुक्रमे प्र_1, प्र_2 .....इत्यादींने दर्शविल्यास,

$$\frac{\text{घु}_1}{\text{प्र}_1} = \frac{\text{घु}_2}{\text{प्र}_2} = \frac{\text{घु}_3}{\text{प्र}_3} = \cdots = \text{ऋ}$$

$$\text{किंवा,} \quad \frac{\text{सीमान्त घर्षबल}}{\text{प्रतिक्रिया}} = \text{ऋ}$$

ऋ ला 'घर्षगुणक' (coefficient of friction) ही संज्ञा आहे. ऋ ची अर्हा संस्पर्शित तलांच्या क्षेत्रफळावर अवलंबून नसते.

समतलाची प्रतिक्रिया = ग वस्तूचे आणि त्यावरील भाराचे भारबल,

$$\text{यावरून,} \quad \frac{\text{सीमान्त घर्षबल}}{\text{वस्तूचे व त्यावरील भाराचे भारबल}} = \text{ऋ}$$

या सूत्राद्वारे ऋ च्या अर्हेचे गणन करतात

अभिनत समतल (inclined plane)

समजा या अभिनत समतलाचा क्षितिज तलाशी असणारा कोन ऊ ने दर्शविला आहे (आकृति ३–२१ पाहा) या समतलावर ग वस्तु स्थिर असल्यास, त्या वस्तूच्या भाराचे अधोग बल भा, समतलाची अभिलंब प्रतिक्रिया प्र आणि घर्षण बल घृ यांचे समतोलन होते म्हणून तलाशी समांतर आणि अभिलंब या दोन दिशात भा बलाचे विघटन केल्यास,

भा कोज्या (ऊ) = प्र

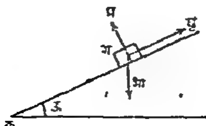
भा ज्या (ऊ) = घृ

आता समतलाचा क्षितिज पातळीशी होणारा कोन क्रमाक्रमाने वाढवीत असताना या कोनाची अर्हता एका विशिष्ट मर्यादेच्या आत असल्यास, वस्तु स्थिर असते कोनाची अर्हता या मर्यादेपेक्षा जास्त केल्यास, ग वस्तु वरून खाली घसरू लागते. या स्थितीत अभिनत समतलाचा क्षितिजतलाशी कोन ऊ' असल्यास,

भा ज्या (ऊ') = घृ', सीमान्त घर्षण बल

भा कोज्या (ऊ') = प्र', प्रतिक्रिया बल

∴ घृ'/प्र' = स्पज्या (ऊ') = ह = घर्षण गुणक



आ ३–२१

ऊ कोनाची अर्हा ऊ' पेक्षा जास्त वाढवून ती ऊ$_1$ केल्यास, [भा × ज्या (ऊ$_1$) − घृ'] या बलाच्या त्वरण गतीने ग वस्तु अभिनत समतलावरून खाली घसरते वस्तत प्रत्यक्ष गति उत्पन्न झाल्यावर गतिविरोधी संघर्षबल (sliding friction) सीमान्त संघर्षबला-पेक्षा थोडें न्यून असते घसरण्याच्या गतीला विरोध करणाऱ्या संघर्षबलापेक्षा परिभ्रमणाच्या गतीला विरोध करणारे संघर्षबल (rolling friction) बरेंच अल्प असते

बलांची समतोल-स्थिति
(conditions of equilibrium of forces)

लवाची परिमा अल्प असल्यामुळे त्यावरील वेगवेगळ्या बलाचा क्रिया-बिंदु एकच असतो, लवावरील बलाचे समतोलन पुढील स्थितीत होते

(१) लवावर क्रिया करणाऱ्या दोन बलाच्या अर्हा समान असून त्याची क्रियारेषा एक असून दिशा विरुद्ध असल्यास ही बलें समतुलित असतात

(२) लवावर क्रिया करणाऱ्या तीन बलाचे प्रतिरूपण महत्तेंत आणि दिशेंत चक्रक्रमश: त्रिकोणाच्या तीन भुजानी करता आल्यास ती बल समतुलित असतात.

(३) लवावर क्रिया करणाऱ्या तीन पेक्षा जास्त बलाचे प्रतिरूपण महत्तेंत आणि चक्रक्रमश: बहुभुजाच्या (polygon) भुजानी करता आल्यास, हीं बलें समतुलित असतात

अनाम्य वस्तुवरील निरनिराळ्या बिंदूवर क्रिया करणाऱ्या बलाच्या समतोलनास पुढील स्थिति आवश्यक आहे

अनाम्य वस्तूवरील वेगवेगळ्या बलाच्या क्रियारेषा सगामी (concurrent) असल्यास, त्यावरील बलाचे समतोलन वर दर्शविलेल्या (१), (२) आणि (३) या स्थितीत होते. अनाम्य वस्तूवरील बलाच्या क्रियारेषा समांतर असल्यास त्या समांतर बलांचे, (अ) परिणामी बल शून्य असावे; (आ) आणि या समांतर बलांमुळे मिथुन उत्पन्न होऊं नये. कारण मिथुनाने अनाम्य वस्तूंत परिभ्रमणाची गति उत्पन्न होते. यावरून, अनाम्य वस्तूत बलाच्या प्रयोगाने स्थानांतर आणि परिभ्रमण होत नसल्यास (१) अनाम्य वस्तूवरील सर्व बलांचे परिणामी बल शून्य असलें पाहिजे; त्याचप्रमाणे (२) त्या बलांची कोणत्याहि बिंदूभोंवती परिणामी विभ्रमिषा शून्य असली पाहिजे. हे प्रतिबंध (conditions) पुढील प्रमाणे दर्शविता येतात.

कोणत्याहि तीन परस्पर लंब अक्षांपैकी प्रत्येक अक्षावरील बलाच्या घटकाचा बैजिक योग (algebraic sum) शून्य असला पाहिजे आणि कोणत्याहि बिंदूभोंवती त्या बलाच्या विभ्रमिषाचा बैजिक योग शून्य असला पाहिजे.

यंत्रें (machines)

एका वस्तूच्या साहाय्याने अथवा वस्तु-समूहाच्या विशिष्ट रचनेमुळे काम करणें सुकर झाल्यास त्या वस्तूला अथवा वस्तुसमूहाला भौतिकीत यंत्र (machine) ही संज्ञा आहे. दुर्घट वाटणारी कामें, तसेंच नित्याच्या व्यवहारांतील कामें सुकर व्हावीं असा प्रयत्न मनुष्य अनादि कालापासून करीत आहे. आधुनिक यंत्रसामुग्री ही बहुशः मागील शतकांतील या प्रयत्नांचेच फळ आहे.

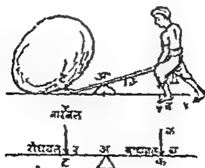
रोबॉट्सारखी आश्चर्यजनक कामें करणाऱ्या यंत्रापासून तो सुपारी

त्याच्या अडकित्यासारख्या साध्या यंत्रांचाहि आजच्या व्यवहारात उपयोग नित्यश करण्यात येतो. या सर्व यंत्रात कर्म करताना उपयोगात आणलेले बल आणि यंत्राच्या जुळणीमुळे घालेले उपयुक्त कर्म यांचे काही सर्वसामान्य संबंध असतात. हे संबंध साध्या यंत्रातील जुळणीच्या पुढील विवेचनावरून लक्षात येतील.

उद्याम (lever)

फार मोठा दगड अथवा लाकडाचा ओंडका इत्यादि जड वस्तूंचे स्थानांतर करणे असल्यास त्या वस्तूखाली पहारीसारखा जाड लोखंडी दंड घालतात. जड वस्तूवरील दंडाच्या टोकाजवळील भाग अ येथील अन्य वस्तूवर टेकून दंडाच्या दुसऱ्या टोकाजवळ बलाचा प्रयोग करून ती वस्तु उचलतात हे पुष्कळांनी पाहिले असेल.

आकृति संख्या ३-२२ पाहा. जडवस्तूच्या भारबलाची र ही अहो य बाह्यबलाच्या अपेक्षेने बरीच जास्त असते. दण्डाच्या समतोल स्थितीत अ भोवती य आणि र या बलाच्या विभिन्नदिशा



आ ३-२२

अनुक्रमे घटिवत् आणि प्रतिघटिवत् असून त्यांच्या महत्ती समान असतात

$$ब \times अक = र \times अट$$

$$\therefore \frac{र}{ब} = \frac{अक}{अट}$$

र भाराची जड वस्तू तिच्या भारबलाच्या मानाने लहान असलेल्या ब बलाने हालविता येते. यावरून, अनाम्य वस्तु आणि तिच्यावर टेकलेला लोखंडी दंड यांच्या जुळणीला यंत्र म्हणता येईल. दंडाच्या वरील प्रकाराला 'उद्याम' (lever) ही संज्ञा आहे.

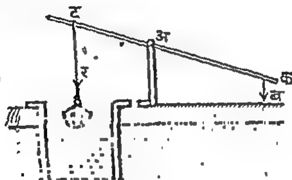
ज्या बाह्य बलाच्या प्रयोगाने यंत्र कर्म करतें त्यास 'प्रयासबल' (effort) म्हणतात, आणि उद्यामाच्या अ या स्थिर बिंदूस 'स्कंभ' (fulcrum) म्हणतात $\frac{र \text{ (रोधबल)}}{ब \text{ (प्रयासबल)}}$ या निष्पत्तीला 'यांत्रिक लाभ' (mechanical advantage) ही संज्ञा आहे. र रोधबलाच्या (resistance) क्रियाबिंदूचे र च्या विरुद्ध दिशेंत विस्थापन झाल्यास, (रोधबल × रोधबलाच्या क्रियाबिंदूचे विरुद्ध दिशेतील विस्थापन) या गुणनफलाने यंत्राने केलेले कर्म दर्शविले जाते.

उद्यामाच्या या प्रथम प्रकारात प्रयासबल ब आणि रोधबल र हीं समांतर सजातीय बलें असून या बलाच्या क्रियाबिंदूमध्ये स्कंभेचे स्थान असें असतें की, अट पेक्षा अक अंतर जास्त असते.

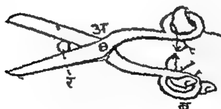
$$\frac{र}{ब} = \frac{अक}{अट} = \text{यांत्रिक लाभ}$$

अक हे अंतर वाढवून अथवा अट अंतर कमी करून, दंड अनाम्य असल्यास यांत्रिकलाभाची महती बरीच वाढविता येते

उथळ विहिरीतून पाणी काढण्याच्या ढेकलीचे काम प्रथम प्रकाराच्या उद्यामाला अनुसरून असून यांत्रिक लाभाचाहि उपयोग यात केलेला आढळतो आकृति ३-२३ (अ) पाहा कात्री याच प्रकारच्या जोड-उद्यामाचे उदाहरण आहे आकृति ३-२३ (आ) पाहा



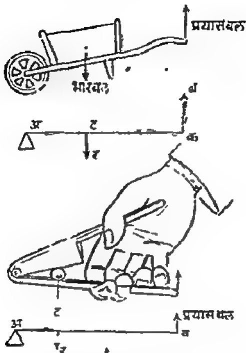
आ ३-२३ (अ)



आ ३-२३ (आ)

उद्यामाच्या दुसऱ्या प्रकारात (आकृति मध्या ३-२४ आणि ३-२५ पाहा) रोधबल र आणि प्रयासबल ब ही अ टेकूच्या एकाच बाजूला असतात प्रयासबलाच्या क्रिया बिन्दू अ पासून अंतर

आ. ३-२४

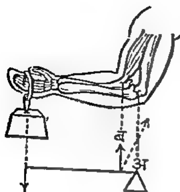


आ. ३-२५

रोधबलाचा क्रियाबिंदु आणि टेकणा या दोहोंतील अंतरापेक्षा जास्त असते, म्हणजेच अक > अट. या प्रकारातील उद्यामाचा

$$\text{यांत्रिक लाभ} = \frac{\text{रोधबल}}{\text{प्रयासबल}} = \frac{\text{र}}{\text{ब}} = \frac{\text{अक}}{\text{अट}}$$

सामानाची हातगाडी हे दुसऱ्या प्रकारच्या उद्यामाचे उदाहरण आहे तसेच अडकित्ता हा दुसऱ्या प्रकारचा जोड-उद्याम आहे.



आ. ३–२६

उद्यामाच्या तिसऱ्या प्रकारात प्रयासबल आणि रोधबल स्कंभेच्या एकाच कडेला असून प्रयासबल हे रोधबलापेक्षा स्कंभेजवळ असल्याने अब < अट. (आकृति ३–२६ पाहा).

$$\text{यांत्रिक लाभ} = \frac{र}{ब} = \frac{अब}{अट} < १$$

या उद्यामात यांत्रिक लाभाची अर्हा १ पेक्षा न्यून असली तरी कित्येक यंत्रातील जुळणीत या उद्यामाचा उपयोग जास्त सोयीचा असतो. आपल्या प्रबाहूची (कोपरा पलीकडील हाताचा भाग forearm) क्रिया ही तिसऱ्या प्रकारच्या उद्यामाच्या प्रनियमाने होते.

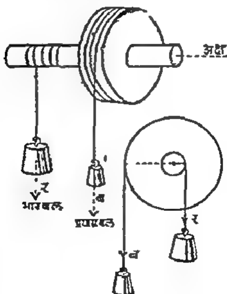
चक्र (wheel) आणि अक्षदण्ड (axle)

आकृति सख्या ३–२७ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे दोन वळकट दोर चक्र आणि अक्षदण्ड यावर उलट दिशांनी गुंडाळलेले आहेत. अक्षदण्डावर गुंडाळलेल्या दोराच्या टोकाला अडकविलेल्या वस्तूचे भारबल र ने दर्शविले आहे. चक्रावरील दोराच्या टोकावर ब हे अधोगत बल असल्यास, समतुलित स्थितीत ब ची अक्षाभोवतीची विभ्रमिपा प्रतिघटिवत् असून र बलाची अक्षाभोवतीची विभ्रमिपा घटिवत् असते. समतुलित स्थितीत या विभ्रमिपाच्या अर्हा समान असतात.

यावरून, व × चक्राची त्रिज्या = र × अक्षदंडाची त्रिज्या.

$$\therefore \frac{र}{व} = \frac{\text{चक्राची त्रिज्या}}{\text{अक्षदंडाची त्रिज्या}} = \text{यांत्रिक लाभ.}$$

व ह्या योग्य बलाने चक्रावरील दोर खाली ओढल्यास व पेक्षा जास्त भारबलाची वस्तू वर ओढली जाते. विहिरीतून पाणी काढण्याच्या हातरहाटात व बलाची क्रिया रहाटाच्या दोन दांडावरील लाव आल्यावर हाताने करतात आणि अक्षदंडाजवळील अक्षाला समांतर असणाऱ्या आडव्या लाकडावर बादलीचा दोर गुंडाळला जातो.



आ. ३-२७



आ ३-२८

आत्मवहाचे यंत्र चालू करताना जो कूर्पर हस्तक (crank-handle) उपयोगात आणतात त्यातहि चक्र आणि अक्षदंड यातील यांत्रिक लाभाचा उपयोग करतात

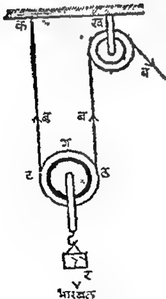
आकृपि (pulley)

आकृति सख्या ३-२८ मध्ये दाख-विल्याप्रमाणे आकृपीची चौकट स्थिर बसविलेली आहे आकृपीवरून नेलेल्या दोराच्या एका टोकास असलेले रोधबल र आणि ओढलेल्या दोराचे आततिबल (tension) ब याच्या समतोलनात

$$ब = र$$

$$\text{आकृपीतील यांत्रिकलाभ} = \frac{र}{ब}$$
$$= १$$

आकृपीच्या उपयोगात यांत्रिक-लाभ नसला तरी कर्म करणाऱ्या व बलाची दिशा जास्त सोयीची असू शकते विहिरीतून हातानी दोर वर ओढून पाणी काढण्या-पेक्षा खिराडीच्या साहाय्याने पाणी काढणे जास्त सोयीचे असत.



आ ३-२९

मुक्त आकृपीच्या उपयोगात

घ येथे घट्ट दोर पक्का बांधून ग मुक्त आकृपीखालून त्या दोराचें टोंक घग बसविलेल्या स आकृपीवरून आणलेलें असतें. आकृति मध्या ३-२९ पाहा. या रचनेंत ग आकृपि मुक्त असून ती वर खालीं जाऊं शकते. वर उचलावयाची जड वस्तु मुक्त आकृपीच्या चौकटीला अडकवितात. दोराचीं क, ग हीं टोंकें खटकुंटीला अडकवून दोराच्या घट आणि खड या दोन्ही भागावरील आततिबल ब समान आहे हें दाखवितां येतें. श हें आकृपींचें भारबल असून, जडवस्तूचें भारबल र असल्यास,



आ. ३-३०

$$२ ब = र + श$$

आकृपींचें श हें भारबल अल्प असल्यामुळें तें उपेक्षून,

$$\frac{र}{ब} = २ = \text{यांत्रिक लाभ.}$$

आकृति ३-३० मध्ये दर्शविल्याप्रमाणें $अ_1$, $अ_2$, $अ_3$ या आकृपी एका, अचल चौकटीला पक्क्या बसविल्या असून त्यांचा एक आकृपिसंच केलेला आहे. $आ_1$, $आ_2$, $आ_3$ या आकृपींचा दुसरा एक संच आहे. एकच दोर सर्व आकृपींवरून नेला असून त्याच्या निरनिराळ्या भागावरील आतति-बल ब नें दर्शविल्यास, आकृपींचें भारबल उपेक्षून,

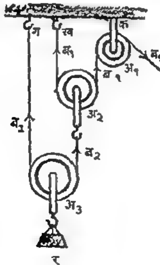
$$र = ६ ब$$

$$\therefore \frac{र}{ब_1} = ६ = यांत्रिकलाभ$$

दोन्ही संचातील आकृपींची संख्या स ने दर्शविल्यास,

यांत्रिक लाभ = स

आकृति संख्या ३–३१ मधील आकृपीच्या रचनेत $अ_2$ आणि $अ_3$ यांचे दोर अनुक्रमे ख आणि ग येथे पक्के बांधलेले आहेत. $अ_1$ आकृपीखालून जाणाऱ्या दोराचे दुसरे टोक $अ_2$ आकृपीच्या चौकटीला अडकविले आहे तसेच $अ_2$ आकृपीखालून जाणाऱ्या दोराचे दुसरे टोक $अ_1$ या स्थिर आकृपीवरून खाली सोडले आहे या यंत्ररचनेतील यांत्रिक–लाभाचा अहीं खालील समीकारावरून काढता येते



आ ३–३१

$र + ध_२ = २ व_२$ ($ध_२$ हा $अ_२$ आकृपीचा भार आहे)
$व_२ + ध_२ = २ व_१$ ($ध_२$ हा $अ_२$ आकृपीचा भार आहे.)
($ध_२$ आणि $ध_२$ उपेक्षून,)

$$\therefore \quad र = ४व_१ = २^२ व_१$$

मुक्त आकृपींची संख्या न असल्यास,

$$\frac{र}{व} = २^{न} = \text{यांत्रिक लाभ}$$

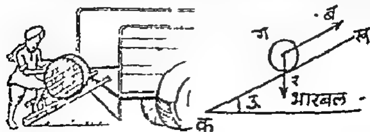
अभिनत समतल (inclined plane)

आकृति ३-३२ मध्ये दर्शविलेल्या घस या संघर्षहीन समतला वर ग वस्तु स्थिर ठेवण्यास लागणारे बल,

$$व = \text{वस्तूचे भारबल, } (र) \times \text{ज्या } ऊ$$

यावरून, $$\frac{र}{व} = \frac{१}{\text{ज्या } (ऊ)} = \text{यांत्रिक लाभ}$$

अभिनत समतलाचा उपयोग गाडीत रभावर ढवे चढविण्यात करतात. उद्याम, आकृपि इत्यादींच्या विवेचनातील यांत्रिकलाभाची सूत्रे, रोधबल र आणि प्रयास बल व याच्या समतोल स्थितीतच सत्य



आ ३-३२

आहेत. बाह्य बल व थोडें वाढवियाने यत्राचे निरनिराळे भाग गतिमान होऊन यत्राद्वारे कम होऊ लागल्यास उर्जास्थिरतेच्या प्रनियमानुसार,

यत्रावर बाह्य बलाने केलेल्या कर्माची अर्हा = यत्रातील घर्षण-बलाविरुद्ध केलेले कर्म + र विरोधी-बलाविरुद्ध केलेले उपयुक्त कर्म

यत्र कर्म करीत असताना त्याच्या यांत्रिक लाभाची गणना केल्यास, ती समतोल–स्थितीतील यांत्रिकलाभापेक्षा न्यून असते हे पुढील उदाहरणावरून लक्षात येईल चक्र आणि अक्षदण्ड याच्या उदाहरणात चक्राच्या एका परिभ्रमणात बाह्यबलाने केलेले

कर्म = व × २ प्या × चक्राची त्रिज्या

= र बलाविरुद्ध केलेले कर्म + घर्षण बलाविरुद्ध कर्म

= र × २ प्या × अक्षदंडाची त्रिज्या + घर्षण बला विरुद्ध कर्म

यावरून, $\frac{\text{र}}{\text{व}}$ ही निष्पत्ति $\frac{\text{चक्राची त्रिज्या}}{\text{अक्षदंडाची त्रिज्या}}$ यापेक्षा न्यून आहे हे स्पष्ट आहे.

अभिनत समतल घर्षणहीन नसल्यास व बलाने र भारबलाची वस्तु कख मार्गे लोटीत अथवा ओढीत वर नेल्यास,

व × कख = र × ज्या ऊ × कख + कख विस्थापनातील [घर्षण बलाविरुद्ध केलेले कर्म

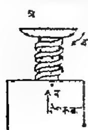
$$\therefore \frac{\text{र (भारबल)}}{\text{व (प्रयासबल)}} = \frac{1}{\text{ज्या (ऊ)}} - \frac{\text{घर्षणबलाविरुद्ध केलेले कर्म}}{\text{व × कख × ज्या ऊ}}$$

म्हणून गति–स्थितीतील यांत्रिक लाभ $\frac{१}{ज्या \alpha}$ पेक्षा न्यून आहे घर्षणबल उपेक्षणीय असल्यास यंत्राद्वारे कर्म होत असताना यांत्रिक लाभाची अर्हा यंत्राच्या स्थिरस्थितीतील यांत्रिक लाभाच्या अर्हेइतकीच असते.

$\frac{\text{उपयुक्त कर्म}}{\text{यंत्रावरील व्यय केलेले कर्म}}$ या निष्पत्तीला यंत्राची 'कार्यनिष्पत्ति' (efficiency of a machine) ही संज्ञा आहे वरील विवेचनावरून यंत्राच्या कार्यनिष्पत्तीची महत्तम अर्हा १ असून, ही महत्तम अर्हा केवळ घर्षणशून्य यंत्रातच शक्य आहे असे दिसून येईल घर्षणशून्य यंत्र निर्माण करणे शक्य नसल्याने, प्रत्यक्ष व्यवहारातील यंत्राची कार्यनिष्पत्ती १ पेक्षा न्यून असते यंत्राच्या साहाय्याने ऊर्जेचा लाभ (gain of energy) होणे शक्य नाही तथापि सौकर्याच्या दृष्टीने र या मोठ्या बलापेक्षा व या लहान बलाने कर्म करिता येते हाच अनुभव यांत्रिक लाभाच्या गणनेत समाविष्ट केलेला आहे

भ्रमि

भ्रमीच्या परिभ्रमणाने कर्म करणाऱ्या यंत्रात अभिनत समतलाच्या नियमाचा उपयोग केलेला असतो भ्रमिदोरीच्या परिधीला अनुस्पर्शी असलेल्या व बलाने (आकृति संख्या ३–३३ पाहा) भ्रमीचे पूर्ण परिभ्रमण केल्यास,



आ ३–३३

भ्रमावरील कर्म $= व \times २ \pi त्र$

$= र \text{ (रोधबल)} \times \text{भ्रमीचा अंतराल.}$

$$\frac{र}{व} = \frac{२ \pi त्र}{\text{भ्रमीचा अंतराल}} = \text{यांत्रिक लाभ}$$

त्र ही भ्रमिदोरीची त्रिज्या आहे त्र वाढवून आणि भ्रमीचा अंतराल अल्प करून यांत्रिक लाभ

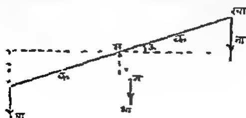
बराच मोठा करता येतो आत्मवहासारख्या जड वस्तु भूमीपासून थोड्या उंच उचलावयाच्या असल्यास भ्रमि उत्थापाने (screw jack) हें काम सहज करता येते

भ्रमीच्या सूत्रावरील सघर्षबल बरेच असल्यामुळे भ्रमि-उत्थाप इत्यादि यंत्राची कार्यनिष्पत्ति अल्प असते

आधुनिक युगातील जटिल (complex) यंत्रातहि वर वर्णिल्यासारख्या अनेक साध्या यंत्राची जुळणी केलेली असते उदाहरणार्थ टंकलेखन यंत्रातील टंक उद्यामानेच हालविले जातात आत्मवहाच्या अरित्रचक्रात (steering wheel) चक्र आणि अक्षदण्डाच्या प्रनियमाचा उपयोग केलेला आहे

साधी तुला (simple balance)

साध्या तुलेत पहिल्या प्रकारच्या उद्यामातील प्रनियमाचा उपयोग केलेला आहे काखा या दण्डाच्या मध्यावर क्षुरिधारा (knife edge) बसविली असून ही क्षुरिधारा एका गुळगुळीत तलावर स येथे ठेवलेली असते (आकृति सख्या ३–३४ पाहा) क्षुरिधारेतून जाणाऱ्या अक्षाभोवती काखा दण्ड उदग्रतलात फिरू शकतो काखा दण्डाच्या दोन टोकास समान भाराची पारडी अडकविली असतात दण्ड आणि त्याच्या मध्यावर लबदिशेत



आ ३–३४

जोडलेला देप्टा (pointer) याचे म्याकृष्टि केंद्र ग हे स खाली असते. समजा पा आणि ता या असमान भारांनी दण्ड क्षैतिज तलाशीं ऊ व्याकोचन कोन करून स्थिर आहे या स्थितीत स स्कंभेभोवती बलाच्या विभ्रमिपा घेतल्यास, प्रतिघटिवत् विभ्रमिपा आणि घटिवत् विभ्रमिपा यांचा समीकार खालीलप्रमाणे मांडता येईल.

$$पा \times क \times कोज्या\ ऊ = ता \times क \times कोज्या\ ऊ + मा \times सग \times ज्या\ ऊ$$

यात, $क = \frac{याखा}{२}$; दण्ड आणि देप्टा यांचा भार = मा

$$\therefore\ (पा - ता) \times क \times कोज्या\ ऊ = मा \times सग \times (ज्या\ ऊ)$$

$$\therefore\ \frac{(पा - ता) \times क}{मा \times सग} = स्पज्या\ ऊ$$

(१) तुलेच्या दोन भुजांचा आयाम समान असून दोन्ही पारड्यांचा भार समान असल्यास तुला सत्य (true) आहे असे म्हणतात, आणि अशा स्थितीत तुलेचा दण्ड क्षैतिज तलांत स्थिर असतो

(२) पा आणि ता यामधील अल्पभेदाने दण्डाच्या व्याकोचित स्थितीतील कोन जास्त झाल्यास तुला हृष स्वरूपाची (sensitive) आहे असे म्हणतात जास्त लांबीचा आणि लहान पुंजाचा दण्ड उपयोगात आणून, तसेच ग या म्याकृष्टिकेंद्राचे स पासून सग हे अंतर अल्प करून तुलेची हृषता वाढविता येते

तोलण्याच्या क्रियेत पा = ता असताना, मा × सग × ज्या (ऊ) या प्रतिस्थापक (restoring) विभ्रमिपेची अर्हा जास्त असल्यास, व्याकोचित दण्ड क्षैतिज तलात त्वकर येईल, कारण पा = ता असल्या-

मुळे त्याच्या स भोवतीच्या बल विभ्रमिपाचे समतोलन होऊन भा × सग × ज्या (ऊ) या परिणामी विभ्रमिपेची दण्डावर क्रिया होते. दोन्ही पारड्यातील भार समान असताना क्षैतिज तलात लवकर स्थिर होणारी तुला 'स्थायी' (stable) आहे असे म्हणण्याचा प्रघात आहे. तुलेची स्थायिता (stability) वाढविण्याकरिता दण्डाचा पुज जास्त असावा आणि सग हे अंतर जास्त असावे.

वरील विवेचनावरून ह्रूपता आणि स्थायिता हे तुलेचे गुण परस्पर विरुद्ध दिसतात स्थायी तुलेने वस्तूचा भार निश्चित करिताना दोन पारड्यातील भार समान आहेत अथवा असमान आहेत हे लवकर कळते म्हणून नित्याच्या व्यवहारात स्थायी तुला जास्त उपयोगी आहे. शास्त्रीय संशोधनातील पुंज मापनात परिशुद्धता येण्याकरिता तुला ह्रूप असावी लागते. तुलेच्या दण्डाचा पुंज आणि त्याची लांबी इत्यादींची योग्य निवड (choice) केल्याने तुलेत ह्रूपता जास्त किंवा जास्त स्थायिता तिच्या उपयोगानुरूप साधता येते.

प्रकरण ४

तरल स्थैतिकी

सान्द्र आणि तरल

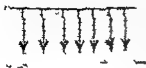
सान्द्र वस्तु एका पात्रातून काढून दुसऱ्या पात्रात ठेवल्यास सान्द्राच्या आकारात आणि परिमेत काहीच परिवर्तन होत नाही. तरल अथवा वाति वस्तूचा आकार ती ज्या पात्रात ठेवलेली असते त्या पात्रावर अवलंबून असतो. निपीडात परिवर्तन न झाल्यास तरलाची अथवा वातीची परिमा स्थिर असते आणि पात्रातील तरलाची परिमा मुक्त पृष्ठाने मर्यादित असते.

तरलाचा आकार पात्रानुरूप बदलतो, यावरून तरलाच्या व्यूहाणूंचे परस्पर सापेक्ष विस्थापन होऊ शकतें, असे दिसतें. हें सापेक्ष विस्थापन होण्यास व्यूहाणूचे परस्परातील सलागी बल (cohesive force) अल्प असलं पाहिजे असे अनुमान करता येतें.

तरलाचा मुक्त पृष्ठ क्षैतिज तलातच असतो, याचें स्पष्टीकरण पुढीलप्रमाणे देता येईल. तरलाच्या मुक्त पृष्ठाचा एक भाग आकृति ४–१ मध्ये क येथे दर्शविल्याप्रमाणे अभिनत असल्यास तेथील तरलाच्या भारबलाचा अभिनत तरल पृष्ठाशी समांतर असणारा विघटक अधोगत असतो. या अधोगत विघटकामुळे क येथील व्यूहाणूंच्या सापेक्ष विस्थापनाला विरोध करणारे सलागी बल अल्प असल्याने, अभिनत थरातील व्यूहाणूत खाली सरकण्याची समूह–गति निर्माण होईल अर्थात्, अभिनत पृष्ठ असणारा तरल



आ ४–१

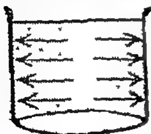


आ ४-२

विश्राम स्थितीत राहणें शक्य नाही; दुसऱ्या शब्दात सांगावयाचें म्हणजे विश्राम स्थितीत तरलाचा मुक्त पृष्ठ क्षैतिज तलानच असला पाहिजे. तसेच तरलाच्या मुक्त पृष्ठातील कोणत्याहि बिंदूवर, आकृति ४-२ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे अभिलंब दिशेंतच क्रिया करणारे बल समस्ते हे लक्षात येईल. (तरलातति प्र. ५ वे पाहा.)

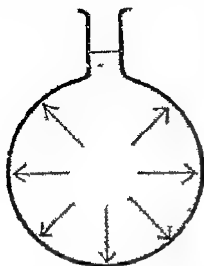
विश्राम स्थितीतील तरलात सान्द्र पदार्थाचा पृष्ठ बुडलेला असतांना त्या पृष्ठावरील बलाची दिशा पृष्ठाला अभिलंब असते, कारण हे बल पृष्ठाला अभिनत दिशेंत असल्यास सान्द्र पृष्ठाचे तरला-वरील प्रतिक्रिया-बलहि पृष्ठाला अभिनत विरुद्ध दिशेंत असेल. या अभिनत प्रतिक्रिया-बलाच्या विघटकाने तरलात सान्द्र पृष्ठावरून घसरण्याची गति उत्पन्न होऊन तरलाच्या विश्राम स्थितीचा भंग होईल. तरलांत असलेल्या सान्द्राच्या पृष्ठावरील बलाची दिशा आकृति ४-३ (अ) आणि (आ) मध्ये बाणाने दर्शविली आहे.

घनता (density)



आ. ४-३ (अ)

निरनिराळ्या सान्द्र द्रव्यांच्या समान परिमा असलेल्या वस्तूचे भार भिन्न असतात. समान परिमा असलेल्या तरल द्रव्याचे भारहि भिन्न असतात वस्तूचा पुंज पु आणि तिची परिमा प ने दर्शविल्यास, $\frac{\text{वस्तूचा पुंज (पु)}}{\text{वस्तूची परिमा (प)}}$



आ. ४–३ (आ)

या निष्पत्तीला त्या वस्तुद्रव्याची 'घनता' (घ) असे म्हणतात. दुसऱ्या शब्दांत घनता म्हणजे एकक परिमेच्या भागाचा पुंज म्हणता येईल. घनतेच्या परिभाषेनुसार, $\frac{\text{पु}}{\text{प}} = \text{घ}$,

अथवा $\text{पु} = \text{प} \times \text{घ}$,

असा पुंज, परिमा आणि घनता यांचा संबंध दर्शविता येईल. यापैकी, कोणत्याहि दोन राशींच्या अर्हा माहीत असल्यास तिसरीचे गणन करता येईल. घनता ही वस्तुद्रव्याची विशिष्ट लाक्षणिक राशी आहे असा निष्कर्ष सपरीक्षेवरून सिद्ध झालेला आहे.

लॉर्ड रॅले यांना सपरीक्षेवरून असे आढळून आले की वातावरणातील जारक (oxygen), अंगार-द्वि-जारेय (carbon-di-oxide), प्रबाष्प (water vapour) इत्यादि काढून टाकून, उरलेल्या वायूची घनता मापल्यास, ही घनता प्रयोगशाळेतील रसायनिक क्रियेने मिळालेल्या भूयातीच्या (nitrogen) घनतेपेक्षा जास्त आहे, म्हणून उरलेल्या वायूत भूयाति आणि दुसरा एखादा वाति असला पाहिजे असे अनुमान करून, लॉर्ड रॅले, सर विल्यम रॅमसे आदि शास्त्रज्ञांनी वातावरणातील वातींचे योग्य संशोधन आरंभिले. त्या संशोधनांत मन्दाति (argon), यानाति (helium)

इत्यादि बातींचा शोध लागला. यावरून वस्तूंच्या घनतेच्या परिशुद्ध निश्चयनाचे महत्त्व लक्षात येईल. शि. धा. का. पद्धतीत......

$$घनता = \frac{पु}{प} = \frac{पु \text{ धान्य}}{प \text{ घनशतिमान}}$$

$$= \left(\frac{पु}{प}\right) \text{ धान्य प्रति घन शतिमान} \quad \text{......स. ४–१}$$

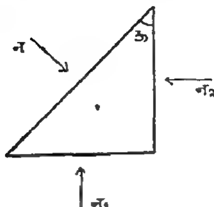
म्हणून शि. धा. का. पद्धतीतील घनतेचे एकक, १ धान्य प्रति घन शतिमान हे होय या प्रा. का. पद्धतीत घनतेचे एकक, १ प्राजलि प्रति घनपाद हे होय.

निपीड (pressure)

कोणत्याहि बिन्दुजवळील क्ष या अल्प क्षेत्रफळावर क्रिया करणारे बल ब असल्यास, $\frac{ब}{क्ष}$ या निष्पत्तीला त्या बिन्दुवरील तरलाचे निपीड म्हणतात.

तरलांतील निपीड

तरलातील कोणत्याहि बिंदूवरील निपीड सर्व दिशांना समान असतें. तरलात एक लव कोणीय अल्प परिमा असलेल्या सक्षेत्राकृतीची (prism) कल्पना करूं. (आकृति ४–४ पाहा). समजा या सक्षेत्राचा कोन ऊ आहे आणि त्याच्या कर्णपार्श्वाचे क्षेत्रफळ क्ष असून त्यावरील निपीड न आहे या सक्षेत्राच्या क्षैतिज आणि उदग्र पृष्ठाचे क्षेत्रफळ अनुक्रमे $क्ष_1$ आणि $क्ष_2$ ने दर्शविले आहे. सक्षेत्राची परिमा अल्प असल्याने, त्याच्या कोणत्याहि पृष्ठाच्या अल्पक्षेत्रावरील निपीड सर्वत्र सारखेंच असतें असें मानता येईल. म्हणून न, $न_1$ आणि $न_2$



आ. ४–४

निपीडाची क्रिया तरलाच्या निरनिराळ्या पृष्ठावर आकृतीत दाखविलेल्या दिशानी होते असे मानता येईल सक्षेत्रातील तरल स्थिर असल्यामुळे, त्यावरील बलाचे समतोलन होत असले पाहिजे

$$न \text{ क्ष } ज्या\ (ऊ) = न_1\ क्ष_1$$

$$न \text{ क्ष } कोज्या\ (ऊ) = न_2\ क्ष_2 + \text{सक्षेत्रातील तरलाचा भार}$$

अभिनत पृष्ठतलाच्या विक्षेपण (projection) नियमानुसार,

$$क्ष\ ज्या\ (ऊ) = क्ष_1 \text{ आणि } क्ष\ कोज्या\ (ऊ) = क्ष_2$$

$$\therefore \quad न = न_1 \text{ आणि } न = न_2 + \frac{\text{सक्षेत्रातील तरलाचा भार}}{क्ष}$$

सक्षेत्राची परिमा क्रमाक्रमाने लहान करीत गेल्यास अमर्याद लहान सक्षेत्रातील तरलाचा अल्पभार उपेक्षून,

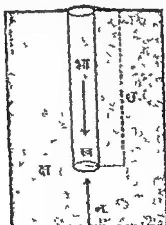
$\therefore$ न = न$_1$ आणि न = न$_2$

$\therefore$ न = न$_1$ = न$_2$

सक्षेत्राच्या अभिनत पार्श्वाच्या ऊ या कोनाची अर्हा कोणतीहि असली तरी, वरील समीकार सिद्ध करता येईल यावरुन कोणत्याहि दिशेतील निपीडाची अर्हा न$_1$ अथवा न$_2$ शी समान आहे, तरलातील विन्दूवरील सर्व दिशातील निपीड समान आहे हे यावरून सिद्ध होते

तरल पदार्थांतील निपीडाचें सूत्र

तरलाच्या पृष्ठापासून ख विन्दूची खोली किंवा गभीरता (depth) छ असल्यास, त्या बिंदूवरील निपीडाचे निश्चयन पुढील-प्रमाणें करतात (आ. ४–५ अ पाहा). ख बिंदूवर क्ष या अल्प अनुप्रस्थ छेदाचा उदग्र स्तम्भ मुक्त पृष्ठापर्यंत उभारला आहे अशी कल्पना करु व



आ. ४–५ (अ)

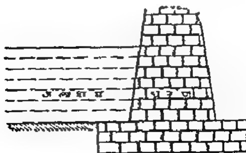
खालील तरलामुळे स्तम्भाच्या खालील क्षैतिज पृष्ठावर ऊर्ध्वाभिमुख दिशेंत बल प्रयुक्त असतें. ह्या बलामुळे स्तम्भातील तरलाच्या भाराचें समतोलन होतें. ख बिंदूजवळील क्ष क्षैतिज पृष्ठावर न निपीड क्रिया करीत असल्यास,

न × क्ष = स्तम्भावरील तरलाचें भारबल

= (छ × क्ष) घ × भू.

∴ न = छ घ. भू धावल/(शि. मा)२......स. ४-२

यात, घ ही तरलाची घनता असून भू हें भ्याकृष्टि-त्वरण आहे. तरलांतील बिंदूवरील न निपीड हें त्या बिंदूची तरलाच्या मुक्तपृष्ठापासूनची खोली आणि तरलाची घनता यांच्याशी अनुपाति आहे. खोल जलाशयाचें बांध आणि नदीवरील धरणें यांचा खालील भाग बराच रुंद असतो, कारण पाण्यात बुडलेल्या धरणाच्या पृष्ठभागावर कार्य करणारे निपीड खालच्या भागावर जास्त असल्यामुळे, त्याला विरोध करण्याइतका धरणाचा खालील भाग भक्कम आणि रुंद असावयास पाहिजे. (आकृति ४-५ आ पाहा.)



आ ४-५ (आ)



आ. ४–६

एकाच क्षैतिज तलांतील निपीड

कल्पना करू की, स्थिर तरलातील एकाच क्षैतिज तलातील क, ख या दोन बिन्दूमध्ये आकृति ४–६ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे अल्प अनुप्रस्थ छेदाची स्तम्भाकृति आहे. क बिंदु जवळील उदग्र-पृष्ठावर लंब दिशेने क्रिया करणारे बल (न$_1$ × क्ष) हे क मधील स्तम्भावृत्तीतील तरलाला ख कडे लोटते. त्याचप्रमाणे ख येथील तरल (न$_2$ × क्ष) या बलाने क कडे लोटले जाते. तरलात सर्वत्र स्थिर स्थिति असल्यामुळे अशी समूह गति (mass motion) उत्पन्न करणाऱ्या बलाचे समतोलन होत असले पाहिजे.

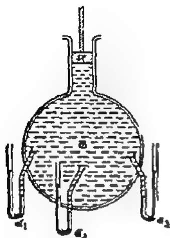
$$न_1 \times क्ष = न_2 \times क्ष$$

$$\therefore \quad न_1 = न_2$$

यावरून, स्थिर तरलात एकाच क्षैतिज तलातील निपीड सर्वत्र सारखेच असते हे लक्षात येईल.

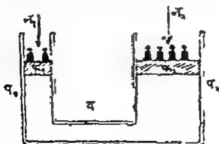
तरलांतील निपीड–पारेषण
(transmissibility of pressure in a liquid)

निपीडाचे तरलातील सर्व भागात समान पारेषण होते.



आ ४–७

आकृति ४–७ मध्यें दाखविल्याप्रमाणें म मुसळ खालीं दाबल्यास, क्षैतिज तलातील ब$_1$, ब$_2$, ब$_3$... या पारद निपीडमानाचें (mercury pressure gauge) निपीडवाचन समान असतें यावरून तरलात बलपारेषण सर्व दिशांनी सारखेंच होतें हें लक्षात येईल. पुढील सपरीक्षेनें तरलातील बलपारेषणात निपीड अचल असतें असें दिसून येतें. आकृति ४–८ मध्यें क्ष$_1$ आणि क्ष$_2$ अनुप्रस्थ छेद असणारीं अनुक्रमें प$_1$ आणि प$_2$ स्तम्भाकार पात्रें एकमेकांस ब या नळीनें जोडलीं आहेत. या पात्रांतील तरलावरील फ$_1$ आणि फ$_2$ हीं घट्ट जलाप्रवेश्य (water-tight) आवरणें वर खालीं सरकूं शकतात. फ$_1$ वर न$_1$ हा कोणताहि भार ठेवल्यास फ$_1$ वर सरकूं लागून फ$_2$ ला स्थिर ठेवण्याकरतां त्यावरहि भार



आ ४–८

ठेवावा लागतो. हा भार $न_2$ असल्यास वरील सपरीक्षेवरून असे दिसते की, $न_1 . न_2 :: क्ष_1 : क्ष_2$

$$\therefore \quad \frac{न_1}{क्ष_1} = \frac{न_2}{क्ष_2}$$

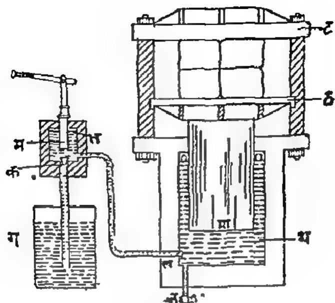
$\frac{न_1}{क्ष_1}$ आणि $\frac{न_2}{क्ष_2}$ अनुक्रमे $क्ष_1$ आणि $क्ष_2$ यावरील निपीड दर्शवितात. वरील समीकारावरून हे निपीड समान आहे असें दिसते. तरलातील निपीड-धारेषणाच्या या नियमाचे प्रथम पास्कलने आविष्करण केले. वरील समीकार

$$न_1 \times \frac{क्ष_2}{क्ष_1} = न_2$$

असा लिहिता येतो. $\frac{क्ष_2}{क्ष_1}$ ही निष्पत्ति योग्य प्रमाणात वाढविल्यास, $न_1$ या अल्पभाराने तरलावरील सान्द्राच्या पृष्ठावर $न_1$ पेक्षा बऱ्याच अधिक असलेल्या बलाची क्रिया होऊ शकते हे लक्षात येईल या वर्धित बलाची योजना यत्रात केल्यास,

$$\frac{न_2}{न_1} = \frac{क्ष_2}{क्ष_1} = \text{यांत्रिक लाभ}$$

खाली वर्णन केलेल्या ब्रामाच्या पीडन यंत्रात (Bramah's hydraulic press) वरील यांत्रिक लाभाचाच उपयोग केलेला आहे. आकृति ४-९ मध्ये म हा लहान अनुप्रस्थ छेदाचा मुषल (piston) आहे. तो वर-खाली करून क आणि ख कपाटाच्या (valve) द्वारे ग जलाशयातील पाणी घ या रुद तोंडाच्या स्तम्भाकृति प्रबल पात्रात जोराने ढकलता येते. या प्रबल पात्राच्या झाकणातून भा मुषल वर खाली सरकू शकतो ख कपाट उघडे असताना घ मधील तरलाचे निपीड



आ. ४-९

थ मधील निपीडाइतकेच असतें अशा स्थितीत म मुसलाला खाली मारणारें बल $न_1$ ने दर्शविल्यास $न_2$ या वर्धित बलाने मा मुसल वर सारला जाऊन, ट आणि ठ यांमध्ये ठेवलेला कापूस घट्ट आवळला येऊन त्याचा गठ्ठा बांधता येतो न नळाच्या साहाय्याने थ मधील पाणी बाहेर सोडून, मा मुसळ पाहिजे तेव्हा खाली आणतां येतो आधुनिक आत्मवहाच्या उद्वाहनाची (lift) क्रिया वरील-प्रमाणेच असते या उद्वाहनात योग्य आलगत्व (viscosity) असलेले तेल वापरतात आणि म मुसलाची क्रिया विद्युत्शक्तीवर चालणाऱ्या बलोदचाच्या (force pump) साहाय्याने करतात.

आत्मवहाच्या आधुनिक आरोधात (brake) परस्परांशीं

योग्य जुळणी केलेल्या प्रबल नळातील तेलावरील निपीड वाढवून, आत्मवहाच्या सर्व चक्रावर आरोप बलाची क्रिया होते

नियमित वस्तूची घनता

नियमित आकार असलेल्या वस्तूच्या आयामाचे मापन करून, योग्य परिमा-सूत्राच्या साहाय्याने वस्तूच्या परिमेचे गणन करावे तुलेच्या साहाय्याने वस्तूचा भार मापावा. वस्तुपुंजाची अर्हा पु आणि परिमेची अर्हा प असल्यास, $\frac{पु}{प}$ = घनता या सूत्राने घनतेचे गणन करावे

अनियमित वस्तूची घनता

वस्तूचा आकार अनियमित असल्यास, माप-कलशात (measuring jar) तरल टाकून, तरलाच्या पृष्ठाचे मापकलशा-वरील ($प_1$) वाचन पाहावे नंतर वस्तु तरलात बुडवून पुन्हा तरलपृष्ठाचे मापकलशावरील वाचन ($प_2$) पाहावे ($प_2 - प_1$) ही वस्तूची परिमा होईल वस्तूचा पुंज पु असल्यास, $\frac{पु}{प_2 - प_1}$ ही त्या अनियमित वस्तूची घनता होय वस्तु तरलात बुडणारी नसल्यास तिला योग्य तो निमज्जक (sinker) बांधून, तरलात वस्तु बुडवावी, आणि योग्य वाचनाच्या साहाय्याने तिच्या परिमेचे मापन करावे

आपेक्षिक भार (specific gravity)

$$\frac{\text{वस्तूचा भार}}{\text{समान परिमेच्या-प्रमाप द्रव्याचा भार}}$$

या निष्पत्तीला वस्तूच्या द्रव्याचा 'आपेक्षिक भार' ही संज्ञा आहे

गाढ आणि तरल वस्तूंच्या आपेक्षिक भार-निरूपणात, ४° श तापावरील पाण्याला प्रमाण द्रव्य मानण्याचा प्रघात आहे. वायूंच्या आपेक्षिक भार-गणनांत स्व. ता. नि. (N. T. P.) वरील उद्जन (hydrogen) हा प्रमाण मानि घेतात. शिशाचा आपेक्षिक भार ११·३६ आहे याचा अर्थ शिशाच्या एखाद्या वस्तूचा भार तितक्याच परिमेच्या पाण्याच्या भारापेक्षा ११·३६ पट आहे. यावरून आपेक्षिक भार ही राशि केवळ संख्येने दर्शविता येते हे स्पष्ट होईल.

$$\text{आ. भा.} = \frac{\text{वस्तूचा भार}}{\text{समान परिमेच्या ४° श. तापावरील पाण्याचा भार}}$$

$$= \frac{\text{वस्तूची घनता}}{\text{४° श. तापावरील पाण्याची घनता}}$$

$$= \frac{\text{वस्तूची घनता}}{\text{पाण्याची घनता}}$$

$\frac{\text{वस्तूची घनता}}{\text{प्रमाण द्रव्याची घनता}}$ या निष्पत्तीला सापेक्ष घनता ही संज्ञा दिल्यास

आपेक्षिक भार = सापेक्ष घनता.

तरलाचा आपेक्षिक भार

घनता कुपी (density bottle)

या काच कुपीच्या पिधेला (stopper) आरपार एक सूक्ष्म छिद्र असते. आकृति ४-१० पाहा. ही कुपी तरलाने पूर्ण भरून, पिधा हळूच बसविली म्हणजे पिधेच्या छिद्रातून जास्त असलेले तरल



काढून जाऊन, कूपी तरलाने पूर्ण भरते या कूपीच्या साहाय्याने समान परिमा असलेली दोन तरल द्रव्ये घेता येणे सुकर होते.

आ. ४-१०

तुलेच्या साहाय्याने कोरड्या रिकाम्या कूपीच्या भाराचे वाचन (व) घेतात. नंतर वर सांगितल्याप्रमाणे ती कूपी सपरीक्ष्य तरलाने पूर्ण भरून, तिच्या भाराचे दुसरे वाचन ($व_1$) घेतात. तरल काढून कोरड्या केलेल्या कूपीत वरीलप्रमाणेच पाणी भरून, तिच्या भाराचे तिसरे वाचन ($व_2$) घेतात. यावरून,

$$\text{तरलाचा आपेक्षिक भार} = \frac{\text{तरलाचा भार}}{\text{समान परिमेच्या पाण्याचा भार}}$$

$$= \frac{\text{कूपीतील तरलाचा भार}}{\text{कूपीतील पाण्याचा भार}}$$

$$= \frac{व_1 - व}{व_2 - व}$$

रेतीच्या बारीक कणासारखे चूर्ण (powder) असलेल्या मान्द्राचा अथवा गुटिका रूपात असलेल्या मान्द्राचा आपेक्षिक भार घनता कूपीच्या उपयोगाने निश्चित करता येतो.

प्रथम कूपी कोरडी करून, तिच्या भाराचे वाचन ($व_1$) घेतात त्यानंतर दिलेल्या गुटिका कूपीत घालून, पुन्हा भाराचे वाचन ($व_2$) घेतात. गुटिका कूपीतच असताना, कूपी पाण्याने पूर्ण भरून, भाराचे तिसरे वाचन ($व_3$) घेतात. त्यानंतर गुटिका बाहेर काढून, कूपी केवळ पाण्याने पूर्ण भरून भाराचे चौथे वाचन ($व_4$) घेतात.

$(व_२ - व_१)$ ही राशी गुटिकाचा भार दर्शविते. तिसऱ्या आणि चौथ्या वाचनांत भेद एवढाच झाला की, गुटिकांनी कुपीतील व्यापिलेली परिमा, चौथ्या भारवाचनात पाण्याने व्यापिली. यावरुन, $(व_३ - व_४)$ ही राशि गुटिकाचा भार आणि समान परिमेच्या पाण्याचा भार या दोहोतील भेद दर्शविते.

गुटिकांचा भार − समान परिमेच्या पाण्याचा भार = $(व_३ - व_४)$

∴ $(व_२ - व_१) - (व_३ - व_४)$ = गुटिकाचा भार − [गुटिकाचा भार − समान परिमेच्या पाण्याचा भार]

= समान परिमेच्या पाण्याचा भार.

म्हणून,

गुटिकाच्या द्रव्याचा आपेक्षिक भार = $\dfrac{व_२ - व_१}{(व_२ - व_१) - (व_३ - व_४)}$

चूर्णरूप सान्द्राच्या आपेक्षिक भाराचे वरीलप्रमाणेच निश्चयन करता येते. चूर्ण अथवा गुटिकाचे पाण्यात विलयन (solution) होत असल्यास, ते द्रव्य ज्यात अविलेय (insoluble) आहे अशा तरलाचा वरीलप्रमाणे उपयोग करुन, गुटिकाच्या द्रव्याचा अविलेय तरलाशी असलेला आपेक्षिक भार गणन करतात

गुटिकाच्या द्रव्याचा आपेक्षिक भार = $\dfrac{\text{गुटिकाचा भार}}{\text{समान परिमेच्या पाण्याचा भार}}$

= $\dfrac{\text{गुटिकाचा भार}}{\text{समान परिमेच्या तरलाचा भार}} \times \dfrac{\text{समान परिमेच्या तरलाचा भार}}{\text{समान परिमेच्या पाण्याचा भार}}$

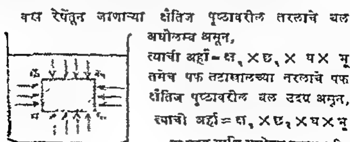
= गुटिकाचा अविलेय तरलाशी असलेला आपेक्षिक भार × अविलेय-[तरलाचा आपेक्षिक भार

वरील सूत्राने अविलेय तरलाचा आपेक्षिक भार ज्ञात असल्यास, गुटिकाचा अथवा चूर्णरूप सान्द्राचा आपेक्षिक भार गणन करता येतो.

आर्किमिडीसचा उत्प्लाविता प्रनियम
(Archimedes' principle of buoyancy)

लाकडाच्या वस्तु पाण्यावर तरंगतात अशा वस्तु पाण्यात बुडविण्याचा प्रयत्न केल्यास, त्या जोराने वर ढकलल्या जाऊन, पुनः पाण्याच्या पृष्ठावर येतात, असा आपला अनुभव आहे यावरून, सान्द्र वस्तूस वर लोटणारे बल तरलात असावे, असे अनुमान करता येईल पुढील विवेचनात या वर लोटणाऱ्या बलाचे स्पष्टीकरण केले आहे.

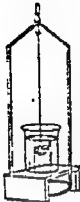
फलफप ही एक नियमित आकाराची वस्तु तरलात बुडविली आहे. आकृति ४-११ पाहा. ह्या वस्तूच्या एकंदर सहा पृष्ठतलांपैकी चार उदग्र पार्श्वतल (lateral surface) असून, दोन क्षैतिज आहेत. समोरासमोरील उदग्र पार्श्वतलाचे क्षेत्रफळ समान असल्यामुळे, आणि त्यावर क्रिया करणारे क्षैतिज दिशेतील निपीडहि समान असेंचे असल्यामुळे, चारहि पार्श्वतलावरील बलाचे समतोलन होते.



आ. ४-११

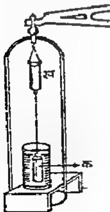
वस रेषेतून जाणाऱ्या क्षैतिज पृष्ठावरील तरलाचे बल अधोलम्ब असून,
त्याची अर्हा = $स_1 \times छ_1 \times घ \times गु$
तसेच पफ तटाखालच्या तरलाचे पफ क्षैतिज पृष्ठावरील बल उदग्र असून,
त्याची अर्हा = $स_1 \times छ_2 \times घ \times गु$
या उदग्र आणि अधोगत बलाचे परिणामी उदग्र बल = $स_1 .(छ_2 - छ_1)$ घ गु

आर्किमिडिजच्या उत्प्लाविता प्रनियमाचें सत्यापन



आ. ४-१२

वस्तूचा भार मापून, ती वस्तु आकृति ४-१२ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे तरलांत पूर्णपणे बुडलेली असतांना, तिचा भार पुन: मापन केल्यास, त्या वस्तूचा भार घटलेला दिसतो. वस्तूचा वायूतील भार भ असून तिचा तरलांतील भार $भ_१$ असल्यास, ($भ-भ_१$) ही भारातील घट त्या वस्तूने विस्थापित केलेल्या तरलाच्या भाराइतकी असते हें सप्रयोगाने दाखविता येते. आकृति ४-१३ मध्ये दाखविलेल्या ख या स्तम्भाकार पात्राची धारिता आणि क स्तम्भाची परिमा समान असल्याने क स्तम्भ ख पात्रात बसवून तुलेच्या साहाय्याने ख आणि क यांचा भार भ निश्चित करावा. आता, क स्तम्भ पाण्यात बुडेल अशा रीतीने त्याखाली जलपात्र ठेवून, आकृती ४-१३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे ख, आणि क चा भार मापन केल्यास भ भाराने तुला असमतुलित आहे असे दिसेल. म्हणजे क, ख चा अशा स्थितीतील भार घटलेला दिसतो. यानंतर, ख पात्र पाण्याने पूर्ण भरून, पुन: भार मापल्यास तुला भ भारानेच समतुलीत झालेली आढळते. यावरून, क स्तम्भ पाण्यात बुडलेला असताना, त्याच्या भारात जो घट दिसली, ती घट ख पात्रातील पाण्याच्या



आ. ४-१३

भारासमान आहे. परंतु ख ची धारिता क च्या परिमेसमान असते, म्हणून क स्तंभ पाण्यांत असताना त्याच्या भारातील घट

= ख पात्रातील पाण्याचा भार

= क च्या परिमेइतक्या पाण्याचा भार

= क ने विस्थापलेल्या पाण्याचा भार

अनियमित आकाराच्या वस्तूच्या साहाय्यानेहि वरील निष्कर्षाचे सत्यापन करता येते. अनियमित आकाराची वस्तु घेऊन तरलातील तिच्या भाराची घट निश्चित करावी. मापपात्राच्या साहाय्याने वस्तूची परिमा गणन करून, तेवढ्याच परिमेच्या तरलाचा भार घेतल्यास, हा भार आणि तरलातील वस्तूच्या भारातील घट या दोहोंच्या अर्हा समान आहेत असे दिसेल. तरलात बुडणाऱ्या प्रत्येक वस्तूच्या भारात दिसून येणारी घट, ही त्या वस्तूने विस्थापित केलेल्या तरलाच्या भाराइतकी असते, हे अनुमान प्रथम आर्किमिडीज्ने केले, म्हणून याला 'आर्किमिडीज्चा उत्प्लाविता प्रनियम' असे म्हणतात

उत्प्लाविता प्रनियमाचे उत्प्लाविता बलाच्या द्वारे स्पष्टीकरण करता येते

वस्तूचा तरलातील प्रत्यक्ष भार = वस्तूवरील भ्याकृष्टिबल – तरलातील उत्प्लाविता बल

= वस्तूचा वायूतील भार – तरलातील उत्प्लाविता बल

∴ वस्तूचा वायूतील भार – वस्तूचा तरलातील प्रत्यक्ष भार = तरलातील उत्प्लाविता बल

किंवा

तरलातील वस्तूच्या भारातील घट = तरलातील उत्प्लावी बल.

परंतु मागे सांगितल्याप्रमाणे,

तरलातील उत्प्लावी बल = वस्तूच्या समान परिमेच्या तरलाचा भार.

म्हणून,

तरलात वस्तूच्या भारातील प्रत्यक्ष घट = वस्तूने विस्थापलेल्या तरलाचा भार

आपेक्षिक भार निश्चयनाच्या रीती

आपेक्षिक भाराच्या निश्चयनाला आर्किमिडीझच्या उत्प्लाविता प्रनियमाचा उपयोग करता येतो वस्तूचा वायूतील भार म असून त्याच वस्तूचा पाण्यातील भार $म_1$ असल्यास, $(म - म_1)$ ही भाराची प्रत्यक्ष घट समान परिमेच्या पाण्याच्या भाराइतकी असते म्हणून,

$$वस्तूचा\ आपेक्षिक\ भार = \frac{वस्तूचा\ वायूतील\ भार}{समान\ परिमेच्या\ पाण्याचा\ भार}$$

$$= \frac{म}{(म - म_1)}.$$

ह्याच प्रनियमाचा उपयोग करून, तरलाच्या आपेक्षिक भाराचे निश्चयन करता येते म भाराच्या एका सान्द्राचा पाण्यातील आणि तरलातील भार अनुक्रमे $म_1$ आणि $म_2$ असल्यास,

$$तरलाचा\ आपेक्षिक\ भार = \frac{तरलाचा\ भार}{समान\ परिमेच्या\ पाण्याचा\ भार}$$

$$आ\ भा = \frac{सान्द्राच्या\ समान\ परिमेच्या\ तरलाचा\ भार}{सान्द्राच्या\ समान\ परिमेच्या\ पाण्याचा\ भार}$$

$$\text{आ भा} = \frac{\text{सान्द्राने विस्थापिलेल्या तरलाचा भार}}{\text{त्याच सान्द्राने विस्थापिलेल्या पाण्याचा भार}}$$

$$\text{,, ,,} = \frac{\text{तरलातील सान्द्राच्या भाराची प्रत्यक्ष घट}}{\text{पाण्यातील त्याच सान्द्राच्या भाराची प्रत्यक्ष घट}} = \frac{\text{भ}-\text{भ}_3}{\text{भ}-\text{भ}_1}$$

या सूत्राने तरलाच्या आपेक्षिक भाराचे निश्चयन करता येते. पाण्यात तरंगणाऱ्या सान्द्र वस्तूच्या आपेक्षिक भाराचे गणन करणे असल्यास, निमज्जकाचा उपयोग करून, पुढीलप्रमाणे वाचने टिपून घ्यावीत प्रथम सपरीक्ष्य सान्द्राच्या वायूतील भाराचे (भ_1) वाचन घ्यावे त्यानंतर सान्द्र वायूतच राहू देऊन त्यास बांधलेला निमज्जक पाण्यात पूर्णपणे बुडवावा आणि पुन भाराचे (भ_2) वाचन घ्यावे शेवटी सान्द्र वस्तु आणि निमज्जक दोन्ही पाण्यात पूर्णपणे बुडवुन त्याच्या भाराचे (भ_3) वाचन घ्याव

भ_3 = निमज्जकाचा पाण्यातील भार + वस्तूचा पाण्यातील भार

= निमज्जकाचा पाण्यातील भार + [वस्तूचा वायूतील भार − वस्तूने विस्थापलेल्या पाण्याचा भार]

= (निमज्जकाचा पाण्यातील भार + वस्तूचा वायूतील भार) − वस्तूने विस्थापलेल्या पाण्याचा भार

= भ_2 − समान परिमच्या पाण्याचा भार

∴ समान परिमेच्या पाण्याचा भार = $\text{भ}_2 - \text{भ}_3$

$$\text{वस्तूचा आपेक्षिक भार} = \frac{\text{वस्तूचा भार}}{\text{समान परिमच्या पाण्याचा भार}}$$

$$\text{,, ,, ,,} = \frac{\text{भ}_1}{(\text{भ}_2-\text{भ}_3)}$$



आ. ४–१४

साधें तरलमान (hydrometer)

या उपकरणाच्या उपयोगात प्लवन नियमाचा अवलंब करतात. ब या काचेच्या रुंद नळीच्या वरच्या टोकाला प हा स्तंभ जोडलेला असतो (आ. ४–१४ पाहा.) तरलात व नळी उदग्र दिशेत स्थिर राहाण्याकरिता ब मध्ये पुरेसा पारद घालतात अथवा शिशाच्या बारीक गुटिका घालतात हें उपकरण तरलात मुक्त सोडल्यास स्तम्भाच्या काही विशिष्ट उंची पर्यंत तें तरलात बुडून उदग्र स्थितीत स्थिर राहतें या स्थितीत पु पुंज असलेल्या तरलमानाचें भ्वाकृष्टिबल=(पु × गु)

=तरलातील उत्प्लाविता बल

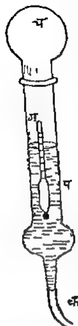
=तरलमानाच्या बुडलेल्या भागानें विस्थापलेल्या तरलाची परिमा × तरलाची घनता × गु.

किंवा तरलमानाचा पुंज, पु = विस्थापलेल्या तरलाची परिमा × तरलाची घनता

विस्थापित तरलाची परिमा अथवा तरलमानाच्या बुडलेल्या

$$\text{भागाची परिमा} = \frac{\text{तरलमानाचा पुंज (पु)}}{\text{तरलाची घनता (घ)}}$$

तरलमानाचा तरलात बुडलेला भाग हा तरलाच्या घनतेला प्रतीपानुपाति (inversely proportional) असतो हें वरील समीकारावरून दिसून येतें खाऱ्या पाण्यापेक्षा साध्या पाण्यात ह्या तरलमानाचा भाग जास्त बुडतो. यावरून खाऱ्या पाण्याची घनता साध्या पाण्यापेक्षा जास्त असते हें लक्षात येतें घनता ज्ञात असलेल्या



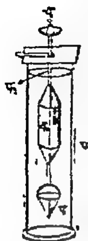
आ ४–१५

तरलात ह तरलमान बुडवून, त्याच्या प स्तम्भावर या तरलाच्या घनतेचे अंकन केलेले असतें त्यानंतर कोणत्याहि तरलाची घनता या तरलमानावरील अंकनाच्या साहाय्याने मापन करता येते

दुधाची घनता मापणाऱ्या दुग्धमानात (lactometer) तरलमानाच्याच प्रनियमाचा उपयोग केलेला असतो विद्युत् संग्रह कोशेतील (storage cell) अम्लाची (acid) घनता काढण्याकरता तरलमानाचा पुढील प्रमाणे उपयोग करतात आकृति ४–१५ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे प या रुंद काच नळीत, ग हे अंकन केलेले लहान तरलमान असतें प च्या खालच्या निमुळत्या टोकाला बसवलेली धृषि-नळी, संग्रह कोशेच्या अम्लतरलात बुडवून घ हा धृषिकंद दाबल्यास प मधील वायु क द्वारे बाहेर पडतो त्यानंतर धृषिकंद मोकळा सोडल्यास क द्वारे संग्रह कोशेतील अम्लतरल प मध्ये शिरते या अम्लतरलाची घनता त्यावर तरंगणाऱ्या ग या लहान तरलमानाच्या साहाय्याने मापन करता येते

निकलसनचें अचल निमज्जन तरलमान
(Nicholson's hydrometer)

व या धातूच्या पोकळ रुंद स्तम्भाला ग हे निशीर्ष (inverted) शंक्वाकार पात्र (conical vessel) जोडलेले असते (आकृति ४–१६ पाहा) व चा वरचा भाग फ या धातूच्या अनाम्य बारीक स्तम्भाला (stem) जोडलेला असून फ च्या वरच्या टोकाला च ही



आ ४-१६

धातूची तबकडी आहे तरलमान तरलात उदग्र स्थितीत तरंगावे म्हणून ग शङ्कूत पुरेसे शिसे घातलेले असते. फ स्तम्भावर एका विशिष्ट स्थानावर खूण केलेली असते. सपरीक्षेत हे तरलमान या विशिष्ट खुणेपर्यंतच तरलांत बुडवितात, म्हणून यास 'अचल निमज्जन तरलमान' म्हणतात

तरलमान छ रम्भपात्रातील पाण्यात मुक्त सोडून, फ खुणेपर्यंत ते पाण्यात बुडून स्थिर होण्याकरता, वरच्या तबकडीवर पुरेसा भार ($भ_1$) ठेवतात हा भार काढून तबकडीवर अल्प परिमेची वस्तु ठेवून, तरलमान खुणेपर्यंत बुडण्यास तबकडीवर दुसरा पुरेसा भार ($भ_2$) ठेवतात त्यानंतर, ही अल्प परिमेची वस्तु शङ्कूच्या पृष्ठावर ठेवून, तरलमान फ पर्यंत बुडण्यास तबकडीवर भार ($भ_3$) ठेवतात या तिन्हीहि वाचनात तरलमानाने विस्थापित केलेली पाण्याची परिमा समान असल्याने या सर्व वाचनात उत्प्लाविता बल भारखेच असते १ ल्या वाचनावरून

उत्प्लाविता बल = तरलमानाचा भार + $भ_1$

२ ऱ्या वाचनावरून,

उत्प्लाविता बल = तरलमानाचा भार + वस्तूचा वायूतील भार + $भ_2$

३ ऱ्या वाचनावरून,

उत्प्लाविता बल = तरलमानाचा भार + (वस्तूचा भार – वस्तूने विस्थापिलेल्या पाण्याचा भार) + $भ_3$

$\therefore$ वस्तूचा भार (वायूतील) = $(\text{भ}_1 - \text{भ}_2)$

आणि वस्तूने विस्थापित केलेल्या पाण्याचा भार = $(\text{भ}_3 - \text{भ}_2)$

$\therefore$ वस्तु द्रव्याचा आपेक्षिक भार = $\dfrac{\text{वस्तूचा भार}}{\text{समान परिमेच्या पाण्याचा भार}}$

$$= \frac{\text{भ}_1 - \text{भ}_2}{\text{भ}_3 - \text{भ}_2}$$

तरलाच्या आपेक्षिक भाराचे निदवयन तरलमानाच्या साहाय्याने पुढीलप्रमाणे करतात. तरलमान पाण्यात आणि तरलात फ खुणेपर्यंत बुडण्यास लागणारे भार अनुक्रमे भ_1 आणि भ_2 असून कोरड्या तरलमानाचा भार भ असल्यास,

$\text{भ} + \text{भ}_2$ = तरलाचे उत्प्लाविता बल = तरलमानाने विस्थापलेल्या तरलाची परिमा $\times$ तरलाची घनता $\times$ भू

आणि

$\text{भ} + \text{भ}_1$ = पाण्याचे उत्प्लाविता बल = तरलमानाने विस्थापलेल्या पाण्याची परिमा $\times$ पाण्याची घनता $\times$ भू

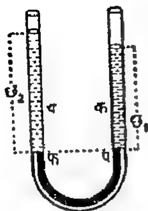
तरलमान पाण्यात आणि तरलात, फ खुणेपर्यंत बुडविल्यामुळे,

$$\therefore \frac{\text{भ} + \text{भ}_2}{\text{भ} + \text{भ}_1} = \frac{\text{तरलाचे उत्प्लाविता बल}}{\text{पाण्याचे उत्प्लाविता बल}} = \frac{\text{तरलाची घनता}}{\text{पाण्याची घनता}}$$

= तरलाची सापेक्ष घनता = तरलाचा आपेक्षिक भार

उर्ध्ववाहू नलिकेची रीति (U-tube method)

तरलाचा आपेक्षिक भार उर्ध्ववाहूनलिकेच्या साहाय्याने निश्चित



आ. ४–१७

करता येतो. आकृति ४–१७ मध्ये दर्शविलेल्या च च या ऊर्ध्ववाहू-नलिकेच्या खालच्या भागात पुरेसा पारद ठेवलेला असतो. च बाहूत काही परीक्ष्य तरल टाकून त्या तरलाचा पुरेसा स्तम्भ घेतात. त्यानंतर, क बाहूत पुरेसे पाणी टाकून दोन्ही बाहूतील पारदाचे प आणि फ पृष्ठ एकाच क्षैतिज तलात आणतात. या स्थितीत,

प येथील अधोलम्ब निपीड = फ येथील अधोलम्ब निपीड; म्हणून

वायुमण्डलाचे निपीड + $छ_1$ या पाण्याच्या स्तम्भाचे निपीड = वायुमण्डलाचे निपीड + $छ_2$ या तरलाच्या स्तम्भाचे निपीड

$छ_1$ या पाण्याच्या स्तम्भाचे निपीड = $छ_2$ या तरलाच्या स्तंभाचे निपीड

$$छ_2 \times घ' \times भू = छ_1 \times घ' \times भू$$

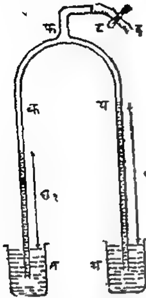
या समीकारात पाण्याची घनता घ असून तरलाची घनता घ' आहे.

$$\therefore \quad \frac{घ'}{घ} = \frac{छ_1}{छ_2} = \text{तरलाची सापेक्ष घनता} = \text{तरलाचा आपेक्षिक भार}$$

ह्या सपरीक्षेत क आणि च मधील तरल, पारदात मिसळणारे नसावे.

अधोवाहू नळी (Hare's apparatus)

आकृति ४–१८ मध्ये हेअरची अधोवाहू नळी दाखविली आहे.



आ ४–१८

नळीच्या क, प बाहूची खालची टोके अनुक्रमे त पात्रातील पाण्यात आणि थ पात्रातील तरलांत बुडलेली असतात. क आणि प च्या वरच्या भागाला फ ही नळी जोडलेली असून, ह्या नळीला एक चूषि-नळी जोडतात. चूषि-नळीला ट स्वज (clip) लावलेला असतो. प्रथम स्वज हाताने दाबून उघडा करतात आणि द द्वारे क आणि प बाहूतील थोडा वायु शोषून घेतात. नंतर स्वज पुन्हा बंद करतात. वायु शोषणाने क, प बाहूतील वायूच्या निपीडात घट होऊन त आणि थ मधील तरल अनुक्रमे क आणि प बाहूत शिरते. तरल-स्तम्भाची स्थिरस्थितीतील उंची अनुक्रमे $छ_1$ आणि $छ_2$ असल्यास,

त वरील वायुमंडलीय निपीड = $छ_1$ या पाण्याच्या स्तम्भाचे निपीड + क आणि प मधील वायूचे निपीड

थ वरील वायुमंडलीय निपीड = $छ_2$ या तरलाच्या स्तम्भाचे निपीड + क आणि प मधील वायूचे निपीड

$छ_1$ या पाण्याच्या स्तम्भाचे निपीड = $छ_2$ या तरल-स्तम्भाचे निपीड

$$छ_1 \times घ \times मू = छ_2 \times घ \times मू$$

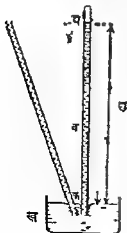
किंवा (तरलाची सापेक्ष घनता) $\frac{घ'}{घ} = \frac{छ_१}{छ_२}$

$$प \text{ मधील तरलाचा आपेक्षिक भार } = \frac{छ_१}{छ_२}$$

त आणि थ मधील तरलाचे पृष्ठ समान पातळीत असावे वरील सर्व रीतीत आपेक्षिक भाराचे निश्चिमन करताना पाण्याचा ताप प्रयोगशाळेतील कोष्टतापाइतका आहे असे गृहित आहे

वायुभारमापकाचा प्रनियम (principle of a barometer)

वायुमण्डलीय निपीडाचे पारदस्तम्भाच्या निपीडाशी पुढील प्रमाणे समतोलन करून या समतुल्य पारदस्तम्भाच्या उचीने वायुमण्डलीय निपीड दर्शविण्यात येते एक टोक बंद असलेली आणि ७६ सि मी पेक्षा थोडी जास्त लांबी असलेली एकरूप छिद्राची क नळी पाऱ्याने पूर्ण भरतात नंतर तिचे तोंड ख या द्रोणीपात्रातील (basin) पारदात बुडवून ही नळी आकृति ४–१९ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे उदग्र स्थितीत स्थिर ठेवतात नळीतील काही पारद द्रोणीपात्रातील पारदात उतरतो आणि विशिष्ट उंचीचा पफ पारदस्तम्भ नळीत स्थिर असतो द्रोणीपात्रातील मुक्त पारद पृष्ठावर वायुमण्डलीय निपीड असून या पारदपृष्ठाच्या पातळीवरील नळीतील पफ पारद स्तम्भाच्या निपीडाने वायुमण्डलीय निपीडाचे समतोलन होते



आ ४–१९

∴ वायुमण्डलीय निपीड = पफ पारदस्तम्भाचे निपीड
= द्रोणीपात्रातील पारदाच्या मुक्त पृष्ठापासून पारदस्तम्भाची उंची × पारदाची घनता × भू
= [पफ × पारदाची घनता × भू]

शि धा. मा. पद्धतीत निपीडाचे $\frac{१ \text{ धावल}}{१ (\text{शि मा})^२}$ या एककात गणन करतात. शून्य अंश शतिक ताप असलेल्या पारदाच्या ७६ शि. मा. उंची असलेल्या स्तंभाने समतुलित होणाऱ्या वायुमण्डलीय निपीडाची अर्हा

$$७६ \times १३.६ \times ९८१ = १.०१३ \times १०^६ \frac{\text{धावल}}{(\text{शि. मा})^२}.$$

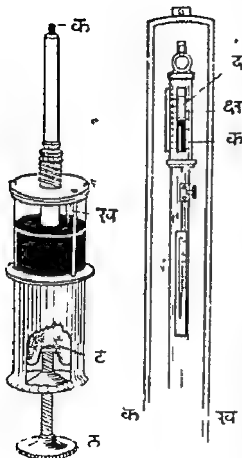
स्थूल मानाने वायुमण्डलीय निपीडाची अर्हा $१ \times १०^६ \frac{\text{धावल}}{(\text{शि. मा})^२}$ इतकी असते. वायुमण्डलीय निपीड पारदस्तम्भाच्या उंचीने दर्शविण्याचाही प्रघात आहे व नळीचे छिद्र केशाकर्षाची क्रिया होण्याइतके सूक्ष्म नसावे. नळीत अल्प घनतेचा तरल असल्यास, या तरलस्तम्भाच्या उंचीचे माण पुढीलप्रमाणे दर्शविता येते.

वायुमण्डलीय निपीड = तरलस्तम्भाची उंची × तरलाची घनता × भू

आकृति ४–१९ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे नळी जास्त तिरपी करीत गेल्यास, नळीचा प वरील सर्व भाग पारदाने पूर्ण व्याप्त होतो यावरून तेथे विस्थापित होण्यासारखे कोणतेहि द्रव्य नाही असे दिसून येईल. वापीडमानातील प वरील भागास टॉरिसेलीचा 'उर्ध्वशून्यक' (Torricellian vacuum) असे म्हणतात. टॉरिसेली नावाच्या शास्त्रज्ञाने ह्या घटनेचा प्रथम अभ्यास केला.

व्यवस्थाप्य वापीडमान
(Fortin's adjustable barometer)

फॉर्टीनच्या वापीडमानाने वायुमण्डलीय निपीडाचे परिशुद्ध

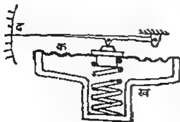


वाचन घेणे मुकर होते (आकृति ४-२० पाहा) ट या चर्माच्या पिशवीतील पारदात ष नळीचे तोंड बुडलेले असते या पिशवीचा तळ ठ भ्रमीला जोडलेल्या धातूच्या आड तबकडीवर आधारलेला असतो भ्रमीद्वार तबकडी वर किंवा खाली सरकविल्याने, पिशवीच्या धारितेत परिवर्तन होते या रीतीने पिशवीतील पारदाचा मुक्त पृष्ठ वर किंवा खाली आणता येतो. वाचन घेण्यापूर्वी, वापीडमानाला बसविलेल्या भ्रमीच्या साहाय्याने, वापीडमान उदग्र–स्थितीत स्थिर करतात. त्या-

हस्तिदती सूचीच्या अग्राला स्पर्श करील इतका वर आणतात. ख सूच्यग्रापासून क मधील पारदस्तम्भाच्या उचीचेवाचन क्ष या उदग्र-श्रेणीवर घतात निलयदन्तिका यमीला (rack and pinion screw) जोडलेल्या द अनुश्रेणीच्या साहाय्याने आयाम वाचतात परिशुद्धता येते.

अनीर वार्पीडमान (aneroid barometer)

ख धातूपानाच्या वर्तुळाकार डबीचे क हे झाकण वलीमान (corugated) पातळ पत्र्याचे असते (आ. ४-२१ पाहा). या डबीतील थोडा वायू काढून घेतात यामुळे ख पात्रातील वातिनिपीड बरेच घटलेले असते. क पृष्ठावरील वायुमण्डलीय निपीडात परिवर्तन झाल्यास, क पृष्ठाच्या मध्यबिन्दूचे विस्थापन होते. मध्य बिन्दूवर आधारलेल्या उद्यामसहतीच्या योग्य जुळणीने मोठ्या वर्तुळ परिधीवर फिरणाऱ्या द देष्ट्याचे विशाल विस्थापन होते. पारद-वापीडमान आणि वरील अनीर वापीडमान याची वाचने एकाच वेळी घेऊन अनीर वापीडमानाच्या वर्तुळ परिधीवर पारदस्तम्भाची उची दर्शविणारे प्राकन (calibration) करतात वायुमण्डलीय निपीड समुद्रसपाटीपासून मापण्याचा प्रघात आहे समुद्रसपाटीपासून जसजसे वर जावे तसतसे वायुमण्डलीय निपीड घटत जाते यावरून एखाद्या स्थलाचे वायुमण्डलीय निपीड माहित असल्यास, त्या स्थळाची समुद्रसपाटीपासून उची कळू शकते आधुनिक विमानसचारात, विमान भूमीपासून किती उचीवर आहे याचे ज्ञान आवश्यक असल्याने, विमानात या अनीर वापीड-मानाची योजना करतात बऱ्याच मोठ्या भूप्रदेशावरील निरनिराळ्या स्थळांचे वायु-मण्डलीय निपीड माहीत अस-ल्यास त्या प्रदेशावरील वायु-मण्डलातील वायूची दिशा आणि प्रवेग याची पूर्वकल्पना

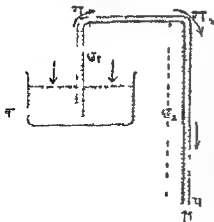


आ ४-२१

करता येते. पाऊस पडण्यापूर्वी वायुमण्डलात पाण्याचे बाष्प बऱ्याच जास्त प्रमाणात असते आणि बाष्पाची घनता अल्प असल्याने, वायुमण्डलाच्या निपीडात घट होते यावरून, वायुमण्डलाच्या निपीडात घट आल्यास पावसाविषयी स्थूलमानाने भविष्य वर्तविता येते. वैमानिकांना व नाविकांना वायुमण्डलासंबंधी आवश्यक तेवढ्या पूर्वसूचना देण्याचा आजकाल प्रघात आहे

निनाल (syphon)

आकृति ४–२२ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे अधोगत बाहूनळीचा एक बाहू क पात्रातील तरलात बुडलेला असून, दुसऱ्या लांब बाहूचे टोक पात्रातील तरलपृष्ठापेक्षा खाली असावे लागते. हा द्विबाहू तरलाने पूर्ण भरून, आकृतीत दर्शविल्याप्रमाणे क पात्रात ठेवल्यास, पात्रातील तरल नळीमार्गे बाहेर वाहून येते. या द्विबाहू नळीला निनाल ही संज्ञा आहे



आ. ४–२२

निनालातील तरल प्रवाहाचे स्पष्टीकरण पुढीलप्रमाणे आहे गग₁ या क्षैतिजतलातील ग बिन्दुवरील तरलाचे निपीड + छ₁ या तरल स्तम्भाचे निपीड = क पात्रातील तरलावरील वायुमण्डलीय निपीड

तसेच,

(ख येथील तरलाचें निपीड + $छ_2$ या तरलस्तंभाचें निपीड)
= प येथील वायुमण्डलीय निपीड

ग येथील निपीड − ख येथील निपीड = ($छ_2$ − $छ_1$) या तरलस्तंभाचें निपीड.

ख भागाकडील निनालाचा बाहू जास्त लांब असल्यामुळे, ($छ_2$ − $छ_1$) या राशीची अर्हा धन असते. यावरून एकाच समपातळीत असलेल्या ग बिन्दूवरील निपीड, ख बिंदूवरील निपीडापेक्षा जास्त असल्याने, निनालातील तरल ग बिन्दूवरून ख बिन्दूकडे प्रवाहित होऊन पात्राबाहेर पडते. तरल पात्राबाहेर प्रवाहित करण्याकरता, $छ_2$ ची अर्हा $छ_1$ पेक्षा जास्त असावी, म्हणजेच बाहेरील बाहूचें टोक पात्रातील तरल-पृष्ठतलाच्या खाली असावें. या बाहूचे टोक तरल पृष्ठाच्या वर असल्यास, ($छ_2$ − $छ_1$) ची अर्हा ऋण होईल आणि तरल ग बिन्दूकडून ख कडे प्रवाहित होणार नाही. यावरून निनालाच्या साहाय्याने पात्रातील तरलपृष्ठापेक्षा जास्त उंचीवर तरल नेणें अशक्य आहे हें लक्षात येईल. निनालातील प्रवाह चालू राहण्यास क पात्रातील तरल निनालाच्या शिरोभागापर्यंत वर येत राहिलें पाहिजे. ही क्रिया तरलाच्या मुक्तपृष्ठावरील वायुमण्डलीय निपीडामुळे होते. म्हणून, तरलाच्या मुक्तपृष्ठापासून निनालाच्या शिरोभागाच्या छ उंचीची अर्हा $\left\{\frac{\text{वायुमण्डलीय निपीड}}{\text{तरलाची घनता} \times \text{भू}}\right\}$ या पदसहतीपेक्षा जास्त असल्यास निनालातील तरलाचा प्रवाह थांबतो.

आधुनिक सपरीक्षांत असें आढळून आलें आहे की क पात्रातील तरल विलेय-वातिहीन (free from dissolved gases) असल्यास, $छ_1$ ही उंची $\left\{\frac{\text{वायुमण्डलीय निपीड}}{\text{तरलाची घनता} \times \text{भू}}\right\}$ या पदसहतीपेक्षा जास्त असूनहि निनालाची क्रिया होते. या स्थितीत खप बाहूकडील तरल

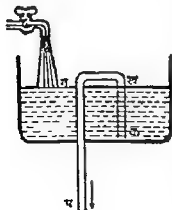
मारख्याने खाली येताना ग खालील तरल-स्तम्भ आसन्य बलाने (tensile force) दोरासारखा वर ओढला जातो

'वसुदेव पेला' आणि पाश्चात्य देशातील 'टँटलस् कप' (Tantalus cup) इत्यादि खेळणी निनालाच्या प्रनियमावर आधारलेली आहेत. निनालाचे बाहू आकृति ४-२३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे क पात्रात बसविलेले असतात. ग स शिरोभागी श्रीकृष्णाच्या मूर्तीचे पाय असतात. क पात्रात पाणी ओतीत असताना, पाण्याचा



आ ४-२३

पृष्ठ मूर्तीच्या पायास लागताक्षणींच पात्रातील पाणी प मार्गे निनालातून बाहेर पडते.



आ. ४-२४

शौचकूप, मोऱ्या इत्यादि धुण्याकरता निनालाच्या क्रियेचा उपयोग करतात. आकृति ४-२४ मधील क पात्रात, तोटीने पाण्याचा अखंड प्रवाह येत असतो. पाण्याचा पृष्ठ गख पर्यंत (आ. ४-२४) आल्याबरोबर निनाल-क्रियेने पाणी प मार्गे बाहेर पडते. क पात्र एकदा

रिते झाल्यावर, तोटीतून येणाऱ्या पाण्याने व मधील पाण्याच्या पृष्ठतलाची उंची गख इतकी होईपर्यंत व मधून बाहेर येणाऱ्या पाण्याचा प्रवाह बंद असतो त्यानंतर प्रवाहाला पुन. आरंभ होऊन, पात्र रिते होते आणि प्रवाह थांबतो. अशा रीतीने निनाल-द्वारा प्रवाहाची सविराम (intermittent) आत्मग (automatic) क्रिया होत असते

वातीची संपीडता

पोकळ रबरी चेंडू हाताने सहज दाबता येतो, व हाताचा दाब काढल्याबरोबर चेंडू पुन गोलाकार होतो; यावरून योग्य निपीडाने वातीच्या परिमेत परिवर्तन करणे बरेच सुकर असते असे दिसून येईल रॉबर्ट बॉईल या आंग्लशास्त्रज्ञास, वातीच्या परिमा परिवर्तनाच्या अभ्यासात असे दिसून आले की विवक्षित वातिपुंजाचा ताप स्थिर असल्यास, त्या वातीची परिमा आणि निपीड यांच्या गुणनफलाची अर्घा स्थिर असते. या नियमास 'बॉईलचा समताप परिमा निपीड नियम' (Boyle's law) म्हणतात या नियमाचे विशेष विवरण ५ व्या प्रकरणात दिले आहे.

बॉईलनंतर इतर शास्त्रज्ञांनी केलेल्या विस्तृत आणि सूक्ष्म सपरीक्षांत असे आढळून आले आहे की, वातीचे निपीड बरेच जास्त असल्यास किंवा ताप अल्प असल्यास, समताप स्थितीतील वातीचे निपीड आणि परिमा यांचे परिवर्तन बॉईलच्या नियमाप्रमाणे होत नाही.

साधा उद्वाही उदंच (lift pump)

या उदंचाला दोन कपाटें असून, ही दोन्ही कपाटें केवळ वर उघडणारी असतात या उदंचाची क्रिया समजण्याकरता अशी

भारबलाने खाली येताना ग खालील तरल-स्तम्भ आतन्य बलाने (tensile force) दोराभारम्भा वर ओढला जातो

'वसुदेव पेला' आणि पाश्चात्य देशातील 'टँटलम् कप' (Tantalus cup) इत्यादि खेळणी निनालाच्या प्रनियमावर आधारलेली आहेत. निनालाचे बाहू आकृति ४-२३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे क पात्रात बसविलेले असतात. ग ख शिरोभागी श्रीकृष्णाच्या मूर्तीचे पाय असतात. क पात्रात पाणी ओतीत असताना, पाण्याचा

आ. ४-२३

पृष्ठ मूर्तीच्या पायास लागताक्षणीच पात्रातील पाणी प मार्गे निनालातून बाहेर पडते.

आ. ४-२४

शौचकूप, मोऱ्या इत्यादि धुण्याकरता निनालाच्या क्रियेचा उपयोग करतात. आकृति ४-२४ मधील क पात्रात, तोटीने पाण्याचा अखंड प्रवाह येत असतो. पाण्याचा पृष्ठ गख पर्यंत (आ. ४-२४) आल्याबरोबर निनाल-क्रियेने पाणी प मार्गे बाहेर पडते. क पात्र एकदा

रित झाल्यावर, तोटीतून येणाऱ्या पाण्याने क मधील पाण्याच्या पृष्ठतलाची उंची गख इतकी होईपर्यंत प मधून बाहेर येणाऱ्या पाण्याचा प्रवाह बंद असतो त्यानंतर प्रवाहाला पुन आरंभ होऊन, पात्र रिते होते आणि प्रवाह थांबतो अशा रीतीने निनाऱ्या-द्वारा प्रवाहाची सविराम (intermittent) आत्मग (automatic) क्रिया होत असते

वातीची संपीडता

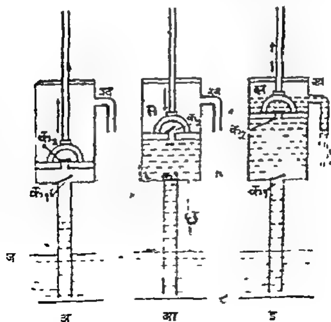
पोकळ धृपि चेंडू हाताने सहज दाबता येतो, व हाताचा दाब काढल्यावरोबर चेंडू पुन गोलाकार होतो, यावरून योग्य निपीडाने वातीच्या परिमेत परिवर्तन करणें बरेच सुकर असते असे दिसून येईल रॉबर्ट बॉईल या शास्त्रज्ञास, वातीच्या परिमा परिवर्तनाच्या अभ्यासात असे दिसून आले की विवक्षित वातिपुंजाचा ताप स्थिर असल्यास, त्या वातीची परिमा आणि निपीड याच्या गुणनफलाची अर्हा स्थिर असते या नियमास 'बॉईलचा समताप परिमा निपीड नियम' (Boyle's law) म्हणतात या नियमाचे विशेष विवरण ५ व्या प्रकरणात दिले आहे

बॉईल्नंतर इतर शास्त्रज्ञानी केलेल्या विस्तृत आणि सूक्ष्म सपरीक्षात असे आढळून आले आहे की, वातीचे निपीड बरेच जास्त असल्यास किंवा ताप अल्प असल्यास, समताप स्थितीतील वातीचे निपीड आणि परिमा यांचे परिवर्तन बॉईलच्या नियमाप्रमाणे होत नाही.

साधा उद्धारी उदंच (lift pump)

या उदंचाला दोन कपाटें असून, ही दोन्ही कपाटें मवळ वर उघडणारी असतात या उदंचाची क्रिया समजण्याकरता अशी

कल्पना करा की, उदंचाच्या स्थानील मुसल प्रथम तळाशी आहे. मुसल वर उचलल्यास $क_1$ आणि मुसलाचा तळ यामधील वाढणाऱ्या परिमेतील वायु-निपीड न्यून झाल्याने, $क_1$ कपाट वर उघडतें; तरलाच्या ज मुक्तपृष्ठावरील वायुनिपीडाने $क_2$ $क_1$ भागात तरल शिरतें (आकृति ४–२५ अ पाहा). त्यानंतर मुसल खाली येताना $क_2$ $क_1$ यामधील तरलावर निपीड वाढल्याने, $क_1$ कपाट बंद होतें आणि $क_2$ वर उघडलें जाऊन, मुसलावरील स भागात तरल वर लोटलें जातें (आ. ४–२५ आ पाहा). यानंतर, मुसल वर उचलताना मुसलावर आलेलें तरल ख मार्गे बाहेर पडतें (आकृति ४–२५ इ पाहा). वरील उदंचाने जलाशयातून पाणी काढावयाचे असल्यास,



आ. ४–२५

$घ_1$ कपाटाची जलाशयातील मुक्त पृष्ठापासून छ उंची खालील पदसहतीत दर्शविल्यापेक्षा जास्त नसावी.

$$छ = \frac{\text{वायुमण्डलीय निपीड}}{\text{पाण्याची घनता} \times भू}$$

छ ची अर्हा ह्यापेक्षा जास्त असल्यास, ज मुक्त पृष्ठावरील वायुमण्डलीय निपीडाने $घ_1$ च्या उंचीपर्यंत पाणी वर लोटले जाणार नाही. वायुमण्डलीय निपीड पारदस्तम्भाने मापल्यास,

$$\text{वायुमण्डलीय निपीड} = \text{पारदस्तम्भाची उंची, द} \times \text{पारदाची घनता} \times भू$$

$$= छ \times \text{पाण्याची घनता} \times भू$$

$$\therefore\ छ = द \times \text{पारदाची सापेक्ष घनता}$$

द ची उंची स्थूलमानाने ३० प्रांगुल मानल्यास,

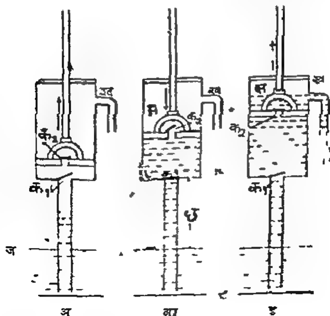
$$छ = \frac{३०}{१२} \times १३.६ = ३४ \text{ पाद}.$$

विहिरीतील पाण्याचा मुक्त पृष्ठतल ३४ पादापेक्षा जास्त खोल असल्यास, या उदचाने पाणी काढणे शक्य होणार नाही. प्रत्यक्ष व्यवहारात २६ ते २७ पाद खोलीवरूनहि पाणी काढण्यास अशा प्रकारच्या उदचाची जुळणी बरीच निर्दोष असावी लागते

पलोदंच (force pump)

बलोदचाच्या द्वारे पाणी बऱ्याच उंचीवर नेता येत. या उदंचाच्या तळातील $घ_1$ कपाटाची क्रिया उद्वाही उदचाप्रमाणेच असते (आ ४–२६ पाहा). मुषल वर उचलतांना $घ_1$ कपाट वर उचलले जाऊन ग रम्भात पाणी शिरत यावेळी, रम्भाच्या कडेस असलेले $घ_2$ कपाट बंद असत नंतर मुषल खाली येताना $घ_1$ व

कल्पना करू की, उदचाच्या रंभातील मुषल प्रथम तळाशी आहे. मुषल वर उचलल्यास क$_1$ आणि मुषलाचा तळ यामधील वाढणाऱ्या परिमितील वायु-निपीड न्यून झाल्याने, क$_1$ कपाट वर उघडतें; तरलाच्या ज मुक्तपृष्ठावरील वायुनिपीडाने क$_2$ क$_1$ भागात तरल शिरते (आकृति ४–२५ अ पाहा). त्यानंतर मुषल खाली येताना क$_2$ क$_1$ यामधील तरलावर निपीड वाढल्याने, क$_1$ कपाट बंद होतें आणि क$_2$ वर उघडले जाऊन, मुषलावरील ख भागात तरल वर लोटले जाते (आ ४–२५ आ पाहा). यानंतर, मुषल वर उचलताना मुषलावर आलेले तरल ख मार्गे बाहेर पडते (आकृति ४–२५ इ पाहा). वरील उदचाने जलाशयातून पाणी काढावयाचे असल्यास,



आ ४–२५

$क_1$ कपाटाची जलाशयातील मुक्त पृष्ठापासून छ उंची खालील पदसहृतीत दर्शविल्यापेक्षा जास्त नसावी.

$$छ = \frac{\text{वायुमण्डलीय निपीड}}{\text{पाण्याची घनता} \times \text{भू}}$$

छ ची अर्हा ह्यापेक्षा जास्त असल्यास, ज मुक्त पृष्ठावरील वायुमण्डलीय निपीडाने $क_1$ च्या उंचीपर्यंत पाणी वर लोटले जाणार नाही. वायुमण्डलीय निपीड पारदस्तम्भाने मापल्यास,

वायुमण्डलीय निपीड = पारदस्तम्भाची उंची, द $\times$ पारदाची घनता $\times$ भू

= छ $\times$ पाण्याची घनता $\times$ भू

$\therefore$ छ = द $\times$ पारदाची सापेक्ष घनता

द ची उंची स्थूलमानाने ३० अंगुल मानल्यास,

$$छ = \frac{३०}{१२} \times १३.६ = ३४ \text{ पाद}$$

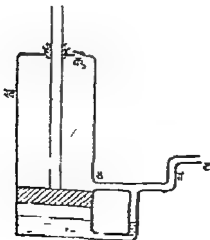
विहिरीतील पाण्याचा मुक्त पृष्ठतल ३४ पादापेक्षा जास्त खोल असल्यास, या उदचाने पाणी काढणे शक्य होणार नाही. प्रत्यक्ष व्यवहारात २६ ते २७ पाद खोलीवरूनहि पाणी काढण्यास, अशा प्रकारच्या उदचाची जुळणी बरीच निर्दोष असावी लागते

बलोदंच (force pump)

बलोदचाच्या द्वारे पाणी बऱ्याच उंचीवर नेता येते या उदंचाच्या तळातील $क_1$ कपाटाची क्रिया उद्ग्राही उदचाप्रमाणेच असते (आ. ४–२६ पाहा). मुसळ वर उचलतांना $क_1$ कपाट वर उघडले जाऊन ग रम्भात पाणी शिरते. यावेळी, रम्भाच्या बाजूला बसविलेले $क_2$ कपाट बंद असते नंतर मुसळ खाली येताना $क_1$ बंद

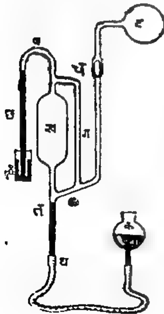
वाति रम्भाबाहेर टाकला जातो अशा रीतीने मुपलाच्या प्रत्येक आघाताने (stroke) ट पात्रामधील थोडा वाति बाहेर टाकला जाऊन, उत्तरोत्तर ट पात्रातील वातीच्या निपीडात घट होते उदचाचे $क_1$ झपाट उघडण्यास लागणाऱ्या बलाच्या ट पात्रातील वातीच्या निपीडाचे बल इतके असावयास पाहिजे या मर्यादेपेक्षा ट मधील वाति–निपीड घटल्यास, $क_1$ न उघडल्यामुळे ट मधील वातीचे प्रसरण होऊं शक्त नाही. यावरुन एका विशिष्ट नीच मर्यादेपेक्षा, ट मधील वाति-निपीड न्यून करणें, या साध्या उत्सावाच्या द्वारे शक्य नसतें हें लक्षात येईल

पुढे वर्णिलेल्या उत्सावाच्या द्वारे पात्रातील निपीड बरेच अल्प करता येते ख रम्भाच्या तळाशी बाष्प निपीड अल्प असलेल्या तेलाचा पातळ थर असतो आकृति ४–२८ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे मुसल



आ ४–२८

तळाशी आल्यावर, ट पात्रातील काही वायु ख रम्भ आणि मुपला-वरचा पृष्ठ यामध्ये प्रसरणाने येतो ठ विवराच्या (opening) वर मुपल नेताना, मुपलावरील भाग आणि ख या दोहोंतील वायु सपीडीत होऊन तो $क_2$ कपाटातून बाहेर पडतो रम्भाच्या तळाला तेल असल्यामुळे, मुपल तळाशी सस्पर्शित असताना, त्या दोहोंतील अवकाशात वायु न राहाता, तो अवकाश तेलाने व्याप्त होतो तसेच मुपलावरील पृष्ठावर तेल असल्याकारणाने, ख च्या झाकणाशी मुपल सस्पर्शित असताना त्या दोहोंतील अवकाशहि तेलानें व्यापला असतो मुपल खाली येत असताना, तो ठ भागाच्या खाली जातो तेव्हा, ट पात्रातील वायु प्रसरणाने ख आणि मुपलाचा पृष्ठ ह्यामध्ये येतो. मुपल वर जात असताना, तो वायु $क_2$ कपाटाद्वारे निःशेष बाहेर टाकला जातो या उत्स्रावाचाने पात्रातील वायूचे निपीड ॰१ सि मा (पारद) पेक्षाहि अल्प करता येते



आ ४–२९

पारद चुषांच

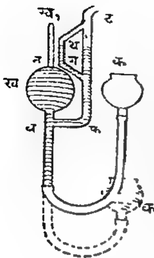
(mercury suction pump)

काही आधुनिक सपरीक्षात, ॰॰॰१ सि मा (पारद) पेक्षा अल्प निपीड मर्यादेपर्यंत, साधिनातील वायु उत्स्रावण करणें अवश्य असते हे कार्य पारदचषाचाने (mercury suction pump) सुलभ होत

छ, ख, ग आणि च हे सर्व काचेचे भाग एकमेकांशी आकृति ४-२९ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे जोडलेले असतात. क पारदाशय वर उचलल्यास, त्यातील पारद ख ग इत्यादि भागांत शिरतो, आणि या भागातील वायु छ मार्गे बाहेर पडतो. यावेळी च येथील काचेचे शंक्वाकार (cone-shaped) कपाट पारदाने वर लोटले जाते. यामुळे ट भागांत पारद जाऊ शकत नाही. यानंतर क पारदाशय खाली आणताना, ख, ग या भागात शून्यक उत्पन्न होतो. पारदाशय च पेक्षा खाली आल्यावर, शंक्वाकार कपाट खाली येते आणि ट ठ मार्ग मोकळा होतो. यावेळी ट द्वारे पात्रातील काही वायु ग, ख या भागात प्रसरणाने येतो. पारदाशय पुन वर उचलताना, पूर्वीप्रमाणेच च कपाट बंद होऊन, ख ग मधील वायु छ मार्गे बाहेर पडतो. क, पारदाशय खाली आणताना, छ येथील पारदस्तम्भ आणि ख मधील पारद यामध्ये शून्यक उत्पन्न होण्यास, छ ची उंची वायुदाबमानातील पारदस्तम्भापेक्षा जास्त असावयास पाहिजे हें लक्षात येईल. तसेच ट पात्रातील अल्प निपीड स्थितीत ख, ग भागातील पारद खाली आणताना, त मार्ग मोकळा होण्यास त आणि च या मधील उंची वायुदाबमानीय पारदस्तम्भापेक्षा जास्त असावी. वरील क्रियेत उघड-झाप करणाऱ्या कपाटास बलाची आवश्यकता नसते. प्रत्येक वेळीं क पारदाशय च पेक्षा थोडा उंच नेल्यास ख, ग मधील वायु निःशेष बाहेर टाकला जातो, म्हणून या पारद चूषाचाने कोणत्याहि साधित्रातील वायुनिपीड अल्पतम करता येतो.

मॅक्लोडचे अल्पनिपीड-मापन (Macleod's guage)

अनेक शास्त्रीय संपरीक्षांत साधित्रातील वायुनिपीड बरेंच अल्प असावे लागते. या अल्प निपीडाचें मापन मॅक्लोडच्या अल्प-निपीडमापनाने करतात. ज्या साधित्रातील अल्प निपीड मापावयाचे



आ. ४–३०

असते, ते साधित्र निपीडामानाला ट येथे जोडतात (आकृति ४–३० पाहा). ख₁ ही शिरोभागी बंद असलेली समच्छिद्र नळी ख कन्दाला वर जोडलेली असते ख₁ आणि ग नळ्यांची छिद्रे सारख्याच क्षेत्रफळाची असतात. निपीडामानातील पारदाचा तल पफ या तलावर राहील इतका पारदाशय खाली ठेवतात. निपीड बरेच अल्प असल्यामुळे प क ही उंची स्थूलमानाने वापीडमानाच्या पारदस्तम्भाइतकी असते या स्थितीत ख, ग आणि ट येथे जोडलेले साधित्र, यातील वायुनिपीड (ना) समान असते. यानतर क पारदाशय वर उचलून, ख मधील पारदतल त पर्यंत येईल असे करतात. या स्थितीत, ग नळीतील पारदाची उंची, आकृति ४–३० मध्ये दाखविल्याप्रमाणे ख₁ मधील पारदतलापेक्षा जास्त असते. ट येथे जोडलेल्या साधित्रातील अल्प निपीडाचे गणन पुढीलप्रमाणे करता येते.

ख कन्द आणि त्यावरील ख₁ नळी याच्या परिमा अनुक्रमे पा आणि प ने दर्शवू ख, ग आणि साधित्र याचा पफ नळीमार्गे संबध असताना, ख आणि ख₁ मधील (पा + प) परिमेच्या वायूचे निपीड ना असते. पारदाशय वर उचलून पारदतल जेव्हा त पर्यंत आणतात त्याचवेळी ग मधील पारदतल थ पर्यंत येतो अशा स्थितीत (पा + प) परिमेच्या वायूचे सपीडन होऊन, तो प परिमा व्यापतो, आणि त्याचे निपीड (ना + छ) इतके असते. यात छ ही त आणि थ मधील उंची आहे क पारदाशय

सावकाश उचलल्याने, ख, ग, मधील वायूचे समतापःप्रपीडन होते म्हणून,

$$(पा + प) \times ना = प \times (ना + छ)$$

$$\therefore \quad ना = \frac{प \times छ}{पा}$$

$\frac{प}{पा}$ या निष्पत्तीची अहां साधारणपणे $\frac{१}{१०००}$ असते.

छ ची अहां १ सि. मा. असल्यास, ना = ·००१ सि. मा. या पारद निपीडामानाने वरीलप्रमाणे अल्प निपीड मापता येतें.

ख, आणि ग यांचे अनुप्रस्थ मारग्याच क्षेत्रफळांचे असल्याने, केशालत्वाच्या क्रियेने उद्भवणारी घट ख, आणि ग या दोन्हींहि नळ्यांत सारखीच होते, आणि त्यामुळे पारदस्तम्भाच्या उंचीत केशालत्वाचा परिणाम होत नाही $\frac{प}{पा}$ या निष्पत्तीची योग्य अल्प अहां योजून, निपीडाचें परिशुद्ध गणन करणे शक्य असते

प्रश्न

(१) सुवर्णाचा आपेक्षिक भार १९·३ आणि रुप्याचा १०·४ आहे. सुवर्ण आणि रुपें यांच्या मिश्रातुचा आपेक्षिक भार १७·६ असल्यास मिश्रातूमधील सुवर्ण आणि रुपें यांचे प्रमाण काय असावें ? (मिश्रणामुळे परिमेचे परिवर्तन होत नाही असे मानावें)

(२) आर्किमिडिजच्या उत्प्लावित्व प्रनियमाचे प्रतिपादन करा.

अ आपेक्षिक भाराची एक वस्तु, अ घनतेच्या तरलाच्या पृष्ठावर हळूच अगद सोडली तरलाची खोली ख असल तर ती वस्तु $\sqrt{\dfrac{2 \text{ ख} \times \text{अ}}{\text{गु} \times (\text{अ} - \text{अ})}}$ इतक्या कालावधात तळाशा जाईल हें सिद्ध करा [गू = ग्वाकृष्टित्वरण]

(३) २ ६ धाय प्रति घ सि मा घनतेच्या काचेच्या एका पिचचा वायूतील भार २३ ४ धाय आणि पाण्यातील भार ३ ९ धाय असल्याम पिधेच्या आतील पोकळीची परिमा गणन करा

(४) एका वस्तूचा वायूतील भार २५ धाय त्या वस्तूचा एका तरलातील भार २० धाय आणि दुसऱ्या तरलातील भार १६ धाय असल्यास, दोही तरलाच्या समान परिमच्या मिश्रणांत त्या वस्तूचा भार किती असेल ?

(५) दोन वस्तूचे पाण्यांतील भार समान आहेत एका वस्तूचा पुज ३२ धाय आणि त्याची घनता ३ ६ धाय प्रति घ सि मा असून दुसऱ्या वस्तूचा पुज ४० धाय असल्याम दुसऱ्या वस्तूची घनता काढा

(६) हेअरच्या उध्ववाहु नळीतील पाणी आणि मातीच तेल याच्या तरलस्तम्भाची उंची अनुक्रमे २१ ३३ सि मा आणि २५ ६० सि मा आहे यावरून मातीच्या तेलाची घनता आणि साधित्रातील वायुनिपीड याच गणन करा [पाण्याचा घनता = ० ९९६ धाय प्रति घ सि मा पारदाची घनता = १३ ५९ धाय प्रति घ सि मा)

(७) ० १ प्रागुल (inch) व्यास असलेल्या वायूचा बुदबुदा

५१ पाद खोल असलेल्या सरोवराच्या तळापासून पाण्याच्या पृष्ठभागावर आल्यास, त्याची परिमा किती होईल ? जलवापीड-मानाची उंची (height)=३४ पाद.

(८) बॉईलच्या समताप परिमा निपीड नियमाचे प्रतिपादन करा.

एका ३० घ. शि. मा. परिमेच्या फुग्यातील वायु ५ शि. मा. लांबी आणि १ शि. मा. व्यास असलेल्या केशाल नळीने भरला आहे. या नळीतील वायूचे निपीड २ शि मा. पारदस्तम्भाएवढे असल्यास, फुग्यात असताना वायूचे निपीड काय असावे ?

प्रकरण ५

भूतद्रव्यांचे सामान्य गुणधर्म

वस्तूच्या वास्तव्याने काही परिमा (space) व्यापिली जाते. तसेच प्रत्येक वस्तूला जडता असते म्हणून वास्तव्याने परिमा व्यापणें आणि स्थिरस्थिति अथवा गति यांच्या परिवर्तनाला विरोध करणें (जडता) हे भूतद्रव्याचे सर्वसामान्य गुणधर्म आहेत असे म्हणता येते.

द्रव्य स्थिरता नियम
(law of conservation of matter)

सृष्टींतील भौतिकीय, रसायनिक (chemical) आणि जीविक (biological) परिवर्तनांच्या अभ्यासावरून दिसून आले आहे की, परिवर्तनात भाग घेणाऱ्या वस्तूंच्या द्रव्याची एकदर पुंजराशी परिवर्तनाच्या आरंभी जितकी होती तितकीच परिवर्तनानंतरहि असते सृष्टीतील सर्व भौतिक (physical) परिवर्तनांत वस्तूंच्या द्रव्यराशीचा नाश होत नाही हा सर्वसामान्य अनुभव 'द्रव्य-स्थिरता नियम' ह्या मोजक्या शब्दांनी दर्शविला जातो ह्यावरून कोणत्याहि परिवर्तनात विश्वातील एकदर द्रव्यराशि अचल असते हे लक्षात येईल

विश्वव्यापी अभ्याकृष्टीचा नियम
(law of universal gravitation)

पृथ्वीवरील अनाधारित वस्तु त्वरणगतीने जमीनीवर पडतात आणि हे त्वरण लहान मोठ्या सर्व वस्तूंत समान असत, श्र र

गॅलिलीओने प्रथम दाखविले. न्यूटनने या घटनेचे सुसंगत विवेचन पुढीलप्रमाणे केले.

"विश्वातील मूलद्रव्याच्या प्रत्येक लव (particle) अन्य प्रत्येक लवाने आकर्षिला जातो. दोन लवांमधील आकर्षणबल त्या लवांच्या पुंजांच्या गुणाकाराशी यथानुपाति आणि त्यांच्या मधील अंतराच्या वर्गाशी प्रतिपातानुपाति असते." ह्या आकर्षणबलास 'अभ्याकृष्टीबल' (gravitational force) ही संज्ञा आहे.

अभ्याकृष्टीबल ब ने दर्शविल्यास

$$ब = \frac{भा \times पु \times पु'}{द^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad स.\ ५\text{-}१$$

या समीकारात द अंतरावरील दोन लवांचे अनुक्रमे पु आणि पु' पुंज आहेत. भा या स्थिरांकाला 'अभ्याकृष्टी स्थिरांक' (gravitational constant) ही संज्ञा आहे. या स्थिरांकाची महती योग्य सपरीक्षेने गणन करून निश्चित केलेली आहे.

दोन लवांमधील अभ्याकृष्टि बलाचा वरील नियम गृहित मानून पृथ्वीच्या एकंदर पुंजामुळे तिच्या पृष्ठावरील वस्तूच्या पुंजावर होणाऱ्या परिणामी अभ्याकृष्टि बलाचे गणन पुढील समीकाराने करता येतें असें न्यूटनने गणिताच्या साहाय्याने सिद्ध केलें,

$$वस्तूवर\ पृथ्वीचे\ परिणामी\ अभ्याकृष्टिबल = ब = \frac{भा \times पु \times पु'}{त्र^2}$$

या सूत्रात पृथ्वी आणि वस्तु यांचे पुंज अनुक्रमे पु आणि पु' ने दर्शविले असून त्र ही पृथ्वीगोलाची त्रिज्या आहे आणि भा हा अभ्याकृष्टि स्थिरांक आहे. या सूत्रावरून,

$$\frac{\text{वस्तूवरील अभ्याकृष्टि बल}}{\text{वस्तूचा पुंज}} = \frac{\text{व}}{\text{पुं}} = \frac{\text{भा} \times \text{पु}}{\text{त्र}^2}$$

या समीकाराच्या उजव्या पक्षाची अर्हा स्थिर आहे. आणि डाव्या पक्षाकडील पदसहति न्यूटनच्या दुसऱ्या गति नियमाप्रमाणे त्वरण दर्शविते; म्हणून,

$$\text{मुक्तपणे पडणाऱ्या वस्तूच्या गतीतील त्वरण भू} = \frac{\text{भा} \times \text{पु}}{\text{त्र}^2}$$

पृथ्वीच्या पृष्ठावर मुक्तपणे पडणाऱ्या कोणत्याहि वस्तूच्या गतीतील त्वरण (भू) सर्व स्थळी समान असले पाहिजे हे वरील सूत्रावरून दिसून येईल.

वरील सूत्राच्या व्युत्पत्तीत, पृथ्वीचा आकार पूर्णपणे गोल आहे हे गृहित आहे. वास्तविक पृथ्वीचा पूर्व-पश्चिम व्यास उत्तर-दक्षिण व्यासापेक्षा थोडा जास्त आहे. पृथ्वीचा हा उनेंद्रजीय (ellipsoidal) आकार लक्षांत घेऊन वरील समीकारात थोडी शुद्धता आणल्यास भू ह्या भ्याकृष्टि-त्वरणाची अर्हा पृथ्वीवरील स्थळाच्या अक्षांशावर अवलंबून असते असे गणिताने सिद्ध करता येते.

कोपर्निकसच्या काळात सूर्याची आणि बुध, शुक्र इत्यादि ग्रहांची पृथ्वीभोवती दिसून येणारी परिभ्रमणाची प्रत्यक्ष गति ही त्यांची सत्य गति आहे असे मानीत परंतु सूर्य आणि ग्रह यांची पृथ्वीभोवती दिसून येणारी ही गति केवळ सापेक्ष असून वास्तविक पृथ्वी आणि इतर ग्रह सूर्याभोवती उनेंद्र कक्षेत परिभ्रमण करीत असावेत असे मत कोपर्निकसने आपल्या ग्रंथात प्रतिपादिले. या मताचा केप्लर, गॅलिलीओ यांनी पुरस्कार केला. सूर्याभोवतीच्या या परिक्रमणगतीला आवश्यक असणारे आरीय (radial) दिशेने

ग्रहाला सूर्याकडे ओढणारे बल कोणत्या कारणाने उत्पन्न होते असावे याचा उलगडा न्यूटनने वरील अन्याकृष्टिबल नियमाच्या आधाराने केला. न्यूटनने गणिताने सिद्ध केले की, सूर्य आणि ग्रह यामधील अन्याकृष्टिबलाने ग्रहाच्या सूर्याभोवतीच्या गतीला आवश्यक असणारे त्वरण उत्पन्न होते. यावरून परस्परास आकर्षण करणे हा विश्वातील अखिल द्रव्याचा एक सामान्य गुणधर्म दिसतो.

अभिघटिता (plasticity)

मेण, लोणी, मातीचा गोळा याचा आकार बलाच्या प्रयोगाने बदलता येतो; आणि बल नाहीसे झाले तरी त्या वस्तूंना पुन पूर्वीचा आकार प्राप्त होत नाही ह्या घटनेचे कारण मेण, लोणी इत्यादि वस्तूत अभिघटितेचा गुणधर्म आहे किंवा त्या वस्तु 'अभिघट्य' (plastic) आहेत असे आपण म्हणतो

प्रत्यास्थता (elasticity)

चेंडू, दोरी इत्यादि घृषेच्या (rubber) वस्तूंचा आकार बलाने बदलता येतो तथापि हे बल नाहीसे झाल्यास या वस्तूंना पुन पूर्वीचा आकार येतो वस्तूचे विरूपण (deformation) करणारे बाह्यबल नाहीसे झाल्यास पूर्वीचा आकार घेण्याच्या वस्तूच्या या प्रवृत्तीला 'प्रत्यास्थता' ही संज्ञा आहे प्रत्यास्थतेची कल्पना येण्याकरिता येथे घृषि-वस्तूचे उदाहरण दिले कारण घृषिवस्तूंचा हा गुणधर्म सामान्य मनुष्यासहि माहीत असतो तथापि प्रत्यास्थता हा सर्व वस्तूंतील लवमसमूहाचा सामान्य गुणधर्म आहे हे सपरीक्षेने सिद्ध झाले आहे

वस्तूच्या परिमित बाह्यबलाने झालेल्या परिवर्तनाला 'विरूपण' ही संज्ञा दिलेली आहे रबराची दोरी ज्या प्रमाणात

लाव ताणाची त्या प्रमाणात ताणणाऱ्या बलाची मात्राहि वाढवावी लागते यावरून प्रत्यास्थवस्तूत वाढत्या विरूपणाला विरोध करणार आतरिक बलहि (internal force) वाढते असे दिसून येईल वस्तूच्या एकक क्षेत्रफळावरील आतरिक बलाला 'प्रत्याबल' (stress) असे म्हणतात आणि बाह्यबलाने विरूपित झालेल्या वस्तूच्या स्थिरस्थितीत प्रत्याबलाची अर्हा वस्तूच्या एकक क्षेत्रफळावरील बाह्यबलाइतकी असते

प्रत्यास्थतेची मर्यादा

विरूपित वस्तु पूर्वस्थितीत येण्यास तिचे विरूपण काही मर्यादेच्या आत असावे लागते बाह्यबल वाढवीत गेल्यास, वस्तूचे विरूपणहि वाढते आणि काही विशिष्ट मर्यादेच्या आत विरूपणाची अर्हा असल्यास बल नाहीसे झाल्यानतर त्या वस्तूस पुन पूर्वीचा आकार येतो. परतु बाह्यबलाने या विशिष्ट मर्यादेच्या पलिकडे विरूपण झाल्यास बाह्यबल नाहीसे झाल्यानतरहि वस्तूस पूर्वीचा आकार येत नाही अशा स्थितीत वस्तूचा विरूपित आकार तसाच राहिल्यास ती वस्तु 'प्रत्यास्थसीमेपलीकडे विरूपित' झाली असे म्हणतात.

प्रयोगशाळेतील प्रत्यास्थतेसबधी सपरीक्षात वस्तूचे विरूपण प्रत्यास्थ-सीमेपेक्षा जास्त होऊ नये अशी दक्षता घ्यावी लागते गृह, सेतु (bridge) इत्यादीच्या बाधकामातील रचनेमुळे खाब आणि तुळया (beam) यात उत्पन्न होणारे विरूपण प्रत्यास्थ सीमेपेक्षा बरेच अल्प ठेवण्याची दक्षता स्थापत्य विशारद (civil engineers) घेतात

मात्र वस्तूवर एकाच दिशेने बाह्यबलाची क्रिया केल्यास त्या बलाच्या दिशेतील वस्तूच्या आयामाचे परिवर्तन होते आयाम

परिवर्तनाचा परिशुद्ध अभ्यास पुढे सांगितल्याप्रमाणे केल्यास, बाह्यबल व त्यामुळे होणारे आयाम-परिवर्तन यांचा परस्पर संबंध समजणे बरेच सुलभ होते.

(अ) धातूच्या तारेचे एक टोक पकडीत घट्ट धरून तार अधोलंब सोडावी. तारेच्या दुसऱ्या टोकास निरनिराळे भार (weights) अडकवून लांबीच्या परिवर्तनाचे मापन करावे. या या मापनावरून दिसून येईल की, ताणणारे बल ज्या प्रमाणात वाढवावे त्याच प्रमाणात तारेची लांबी वाढते.

लांबीचे परिवर्तन ∝ ताणणारे बल.

(आ) एकाच धातूच्या दोन सारख्या जाडीच्या, आखूड व लांब तारांची टोके पकडीत घट्ट धरून त्या अधोलंब सोडाव्या. तारांच्या दुसऱ्या टोकास सारखे भार अडकविल्यास, दोन्ही तारांची लांबी परिवर्तन करणार बाह्यबल सारखेच असते. या तारांच्या लांबीतील परिवर्तनांच्या मापनावरून दिसून येते की, सारख्याच जाडीच्या दोन तारांना ताणणार बल सारखेच असल्यास लांबीचे परिवर्तन मूळ लांबीच्या प्रमाणात होते.

लांबीचे परिवर्तन ∝ तारेची मूळ लांबी

(इ) एकाच धातूच्या आणि निरनिराळ्या जाडी असलेल्या दोन सारख्याच लांबीच्या तारा घेतल्यास,

$$\text{समान बाह्यबलाने होणारे लांबीचे परिवर्तन} \propto \frac{१}{\text{अनुप्रस्थ छेदाचे क्षेत्रफळ}}$$

वरील तीन सपरीक्षांचा निष्कर्ष पुढील प्रमाणे दर्शविता येईल.

$$\text{लांबीचे परिवर्तन} \propto \frac{\text{मूळची लांबी} \times \text{बाह्यबल}}{\text{अनुप्रस्थ छेदाचे क्षेत्रफळ}}$$

ह्या वरून,

$$\text{लांबीचे परिवर्तन} \propto \frac{\text{बाह्यबल}}{\text{अनुप्रस्थ छेदाचे क्षेत्रफळ}} \times \text{मूळची लांबी}$$

किंवा,

$$\frac{\text{बाह्यबल}}{\text{अनुप्रस्थ छेदाचे क्षेत्रफळ}} \propto \frac{\text{लांबीचे परिवर्तन}}{\text{मूळची लांबी}}$$

अथवा

$$\frac{\text{बाह्यबल}}{\text{अनुप्रस्थ छेदाचे क्षेत्रफळ}} = \text{रे} \times \frac{\text{लांबीचे परिवर्तन}}{\text{मूळची लांबी}}.$$

यावरून,

$$\frac{\dfrac{\text{बाह्यबल}}{\text{अनुप्रस्थ छेदाचे क्षेत्रफळ}}}{\dfrac{\text{लांबीचे परिवर्तन}}{\text{मूळची लांबी}}} = \text{रे} \quad \text{.. स. (५-२)}$$

रे ह्या स्थिरांकाला 'रेसीय प्रत्यास्थता मापांक' (Young's modulus of elasticity) अशी संज्ञा आहे. वरील समीकाराच्या डाव्या पक्षातील सर्व राशींचे सपरीक्षेने मापन करून रे

ज्या अर्हेचे गणन करता येते असे गणनावरून दिसून आले आहे की, रे ची अर्हा सपरीक्ष्य तारेच्या धातूवर अवलंबून असते

वरील समीकारातील $\dfrac{\text{लांबीत परिवर्तन}}{\text{मूळ लांबी}}$ ह्या निष्पत्तीची

अर्हा तारेच्या एकक लांबीत परिवर्तन दर्शविते आणि ह्या निष्पत्तीस 'अन्वायाम विकार' (linear strain) म्हणतात

$\dfrac{\text{बाह्यबल}}{\text{अनुप्रस्थ छेदाचे क्षेत्रफळ}}$ या निष्पत्तीची अर्हा, क्षेत्रफळाच्या एकक

भागावर कार्य करणारे बल दर्शविते ही निष्पत्ति 'प्रत्यावल' (stress) समान असते वरील परिभाषेचा उपयोग करून,

$\therefore$ प्रत्यावल $\propto$ अन्वायाम विकार असे म्हणता येईल

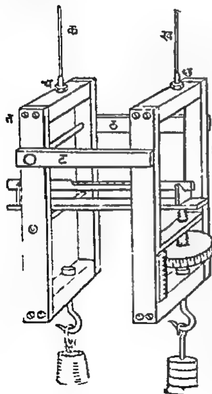
अथवा $$\frac{\text{प्रत्यावल}}{\text{अन्वायाम विकार}} = \text{रे} \qquad \text{स ५–३}$$

हूकचा प्रत्यावल विकार नियम (Hooke's law)

बाह्यबलाने होणारे विरूपण प्रत्यास्थ सीमेच्या आत असल्यास अन्वायाम विकार प्रत्यावलाशी यथानुपाती असतो असे वरील समीकारावरून दिसते 'अन्वायाम विकार आणि प्रत्यावल यथानुपाती असतात', या नियमाचे हूक या शास्त्रज्ञाने प्रथम स्पष्टपणे विवरण केले म्हणून या नियमास 'हूकचा प्रत्यावल-विकार-नियम' (Hooke's law) म्हणतात लांबीचे आणि अनुप्रस्थ छेदाचे परिवर्तन ह्या सपरीक्ष्यात अल्प असे मानले हूकच्या प्रत्यावल विकार–

नियमावरून, $\frac{\text{लांबीचे परिवर्तन}}{\text{बाह्यबल}}$ ही निष्पत्ति स्थूलमानाने स्थिर

असते. बिंदुरेख–पत्राच्या अक्षावर लांबीचे परिवर्तन आणि बाह्यबल यांच्या वाचनाचे यथाक्रम प्रांकन करून काढलेला बिंदुरेख सरळ रेषारूप असतो



आ ५–१

रेखीय प्रत्यास्थता मापांकाच्या परिशुद्ध गणनात खालील साधित्राचा उपयोग करतात.

लांबी आणि जाडी सारख्याच असलेल्या क आणि ख या दोन तारा एकाच धातूच्या असून त्यांची वरील टोकें एकाच बळकट आधारावर घट्ट पकडीत बसविलेलीं आहेत (आकृति ५–१ पाहा) तारांची खालची च आणि छ टोकें आकृतीत दर्शविल्याप्रमाणे त आणि थ या दोन मजबूत पितळी चौकटींना पक्की बसविलेलीं असतात. पितळी

चौकटी एकमेकांशी ट आणि ठ पट्ट्यांनी अशा जोडलेल्या असतात की, प्रत्येक चौकट विच्यातून जाणाऱ्या तलाला समांतर सरकू शकते त चौकटीला खाली पुरेसा भार अडकवून व तार घट्ट ताणून ठेवलेली असते. थ चौकटीला आकृतीत दर्शविल्याप्रमाणे निरनिराळे भार अडकवून स तार ताणणाऱ्या बलाचे परिवर्तन करता येते. स तारेच्या लांबीचे परिवर्तन मोजण्यास प्रासव-तल (spirit level) आणि अणुमान-भ्रमीचा उपयोग करतात. प्रासव-तलाचे एक टोक त चौकटीतील एका बिंदूवर स्थिर टेकलेले असते. प्रासव तलाचे दुसरे टोक थ चौकटीला सिळवलेल्या अणुमान-भ्रमीच्या अग्रावर आधारलेले असते.

पारडयातील भार $पु_1$ असताना भ्रमि फिरवून प्रासव-तलाचा बुडबुडा मध्यावर आणतात. ह्या स्थितीत भ्रमीचे वाचन घेतात. समजा ते $व_1$ आहे त्यानंतर पारडयातील भार वाढविल्यास स तारेची लांबी वाढते. थ चौकट आणि त्या समवेत भ्रमीवरील प्रासव-तलाचे टोकहि तारेच्या लांबीच्या वर्धनाइतके खाली उतरते. या स्थितीत पुन्हा प्रासव-तलाचा बुडबुडा मध्यावर येईपर्यंत भ्रमि फिरवून भ्रमीचे दुसरे वाचन घेतात समजा भ्रमीचे हे वाचन $व_2$ आहे आणि पारडयातील ह्यावेळच्या भाराचे वाचन $पु_2$ असल्यास, $(पु_2 - पु_1) \times भ्$ ह्या बाह्यबलाने स तारेच्या लांबीचे परिवर्तन $(व_2 - व_1)$ इतके होते हे स्पष्ट होईल.

पारडयातील भार क्रमाक्रमाने वाढवितात आणि प्रत्येक वेळी भाराचे आणि वर दर्शविल्याप्रमाणे भ्रमीचे वाचन घेतात. तारेचा अनुप्रस्थ छेद वर्तुळाकार असून त्याची त्रिज्या त्र असल्यास अनुप्रस्थ छेदाचे क्षेत्रफळ (क्षा. $त्र^2$) असते. स तारेची मूळ लांबी ला असल्यात आणि $(व_2 - व_1)$ ह लांबीतील परिवर्तन ल ने दर्शविल्यास, $\frac{ल}{ला}$

ही अन्वायाम विकाराची अर्हा होय. हा अन्वायाम विकार

$(\text{पु}_2-\text{पु}_1)\times\text{मू}$ ह्या बाह्यबलाने झाला असल्यामुळे,

$$\frac{\dfrac{(\text{पु}_2-\text{पु}_1).\ \text{मू}}{\text{प्या.}\ \text{त्र}^2}}{\dfrac{\text{ल}}{\text{ला}}} = \text{रे}$$

$(\text{पु}_2-\text{पु}_1)$ ही राशी पु ने दर्शविल्यास, $\frac{\text{ल}}{\text{ला}}$ अन्वायाम विकार

$\frac{\text{पु}.\ \text{मू}}{\text{प्या.}\ \text{त्र}^2}$ ह्या प्रत्याबलाने होतो

म्हणून,

$$\frac{\dfrac{\text{पु}\ \text{मू}}{\text{प्या.}\ \text{त्र}^2}}{\dfrac{\text{ल}}{\text{ला}}} =$$

किंवा,

$$\frac{\text{पु}\ \text{मू}.\ \text{ला}}{\text{प्या.}\ \text{त्र}^2\ \text{ल}.} = \text{रे}\ \ldots\ \ldots(\text{स. ५-४})$$

ह्या समीकारावरून रे च्या अर्हेचे गणन करतात. तारेच्या धातूचा रेखीय प्रत्यास्थता मापाक मापणारें वरील साधित सर्ल (Searle) ह्या शास्त्रज्ञाने प्रथम उपयोगात आणले.

परिमा प्रत्यास्थता (volume elasticity)

सान्द्र वस्तूच्या सर्व पृष्ठभागावर अभिलंब प्रत्यावल समान असल्यास त्या सान्द्राच्या परिमेचे परिवर्तन होते. $\dfrac{\text{परिमेचे परिवर्तन}}{\text{मूळ परिमा}}$

ह्या निष्पत्तीला परिमाविकार ही संज्ञा दिल्यास, $\dfrac{\text{प्रत्यावल}}{\text{परिमा विकार}}$

ह्या निष्पत्तीची अर्हा, वस्तूच्या मूलद्रव्यावर अवलंबून असते, असे सपरीक्षेने दिसून आले आहे

$$\frac{\text{प्रत्यावल}}{\text{परिमाविकार}} = \text{स्या}$$

'स्या' ह्या स्थिरांकाला 'प्रकाय प्रत्यास्थता मापाक' (bulk modulus of elasticity) किंवा परिमा प्रत्यास्थता गुणक (coeff of volume elasticity) म्हणतात

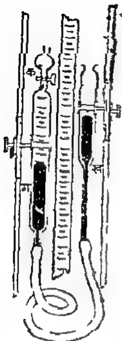
काही वस्तुद्रव्यांचे रेखीय आणि प्रकाय मापाक पुढील सारणीत दिले आहेत.

वस्तू द्रव्य	रेखीय प्रत्यास्थता मापाक		प्रकाय प्रत्यास्थता मापाक	
स्फटधातु (aluminium)	७ ०५ × १०^{11}	धावल (शि मा)^{2}	७ ४६ × १०^{11}	धावल (शि मा)^{2}
तावें (ताम्र) (copper)	१२ ३ × १०^{11}	,,	१३ १ × १०^{11}	,,
सुवर्ण (gold)	८ ० × १०^{11}	,,	१६ ६ × १०^{11}	,,
अयस् (iron)	२१ ३ × १०^{11}	,,	१६ १ × १०^{11}	,,
वज्रायस (steel)	२० ९ × १०^{11}	,,	१६ ४ × १०^{11}	,,
शिस (lead)	१ ६२ × १०^{11}	,,	५ ० × १०^{11}	,,
रूपक (nickel)	२० २ × १०^{11}	,,	१७ ६ × १०^{11}	,,
महातु (platinum)	१६ ८ × १०^{11}	,,	२४ ७ × १०^{11}	,,
रजत (silver)	७ ९ × १०^{11}	,,	१० ९ × १०^{11}	,,
दलोताम्र (manganese)	१२ ४ × १०^{11}	,,	१२ १ × १०^{11}	,,
अचलातु (invar)	१४ १ × १०^{11}	,,		

सान्द्रात आणि तरल वस्तूत बाह्यबलाने होणार परिमा-परिवर्तन बरच अल्प असत त्या मानाने वायवीय वस्तूच परिमापरिवर्तन जास्त असे यामुळे हा परिवर्तनाच मापन करणें सुलभ असत

बॉईलच्या समताप परिमा निपीड नियम (Boyle s law)

म या पातळ्या समच्छिद्र (uniform bore) नळीच्या एका टोकाला क ही निरोधिका (stop cock) आहे आकृति ५–२ (अ) पाहा निरोधिकेने विवक्षित परिमचा वायु म नळीत समावृत करता येतो निरोधिकेपासून म नळीच्या कोणत्याहि अंतरावर रेषपयत

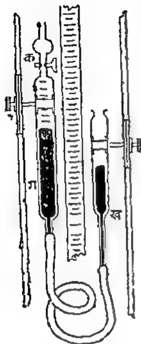


आ ५-२ (अ)

नळीची धारिता (capacity) तिच्यावरील अंकनांत वाचता येते. ख नळीचा वरचा भाग बराच रुंद आणि रम्भाकार असतो. ग आणि ख नळ्यांची खालची टोके घृषि नळीने एकमेकांस जोडून वरील साधित्र ऊर्ध्वबाहू-नालाकार स्थितीत लाकडाच्या चौकटीवर बसविलेले असते. च शिखिपिधा उघडी ठेवून ख नळीच्या रम्भपात्रात पुरेसा पारद ओततात. नंतर ख नळी वर उचलून ग नळीमधील पारदाची पातळी शिखिपिधेपर्यंत वाढवितात. अशा रीतीने ग नळीतील सर्व वायु बाहेर टाकला जातो. या स्थितीत ग नळीचे वरचे टोक सपरीक्ष्य वाति साठविलेल्या पात्रास जोडून, ख नळी हलके हलके खाली आणतात. क द्वारे सपरीक्ष्य थोडा वाति ग नळीत घेऊन ख नळी स्थिर करतात आणि शिखिपिधा फिरवून ग नळीत सपरीक्ष्य वाति समावून घेता येतो. ख नळी वर-खाली सरकविल्यास वातीच्या परिमितीत परिवर्तन झालेले दिसते. आकृति ५-२ (अ) मध्ये दाखविलेल्या स्थितीत ग नळीमधील समावृत वातीचे निपीड ना$_1$ ने दर्शविल्यास,

$$ना_1 = ना \ (\text{वायुमण्डलीय निपीड}) + न_1 = ना + न_1$$

ह्यांत न$_1$ हा ग आणि ख नळ्यांतील पारदतलाच्या उंचीतील भेद असून न$_1$ चे वाचन ख ह्या उदग्र श्रेणीने घेता येते. या स्थितीत, ग वरील



आ ५–२ (आ)

अकनाने वातीच्या परिमेचे वाचन घेतात समजा हे वाचन $पा_1$ आहे नतर ख नळी वर सरकवून सपरीक्ष्य वातीची परिमा आणि ख आणि ग मधील पारदतलाच्या उचीतील भेद याची यथाक्रम घेतलेली अनेक वाचनें नोंदून ठेवतात. ख नळी खाली सरकवून आकृति ५–२ (आ) मध्ये दर्शविलेल्या स्थितीत असल्यास, ख आणि ग नळ्यामधील पारदतलाच्या उचीतील भेद न' असल्यास, ग नळीतील वातीचे निपीड (ना–न') असते निपीड आणि परिमा याची निरनिराळी वाचने घेताना, वातीच्या निपीडाचे परिवर्तन शीघ्र होत असल्यास वातीचा ताप वाढण्याचा सभव असतो वातीत उत्पन्न झालेला हा ऊष्मा, सवाहन (conduction) आणि विकिरण (radiation) इत्यादिद्वारा बाहेर जाऊन वातीचा ताप पूर्ववत् होण्यास थोडा वेळ लागतो यास्तव ख नळी खाली किंवा वर सरकविल्यानतर थोड्या वेळाने वातीची परिमा आणि निपीड यांची वाचनें घेतात

समतापावर वातीचे निपीड $ना_1$ $ना_2$ $ना_3$ इत्यादि असताना त्याची परिमा यथानुक्रमे $पा_1$, $पा_2$, $पा_3$ इत्यादि असल्यास, $ना_1 \times पा_1 = ना_2 \times पा_2 = ना_3 \times पा_3$, असा निपीड आणि परिमा

याचा संबंध प्रत्ययास येतो. निपीड आणि परिमा यांचा वरील संबंध पुढील नियमात स्पष्ट केलेला आहे "वातीचा पुंज स्थिर असल्यास समतापावर वातीचे निपीड आणि त्याची परिमा यांचे गुणनफल स्थिर असते " या नियमाला 'बॉईलचा समताप परिमा निपीड नियम' म्हणतात

$$\text{ना} \times \text{पा} = \text{स्थि}, \ (\text{स्थिरांक}) \ \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{स. ५–५.}$$

ह्या सूत्राने वरील नियम दर्शविण्याचा प्रघात आहे

घ घनता असलेल्या पा परिमेच्या वातीचा पुंज पु असल्यास,

$$\text{पु} = \text{घ} \times \text{पा}$$
$$\frac{\text{पु}}{\text{घ}} = \text{पा}$$

बॉईलच्या समताप परिमा निपीड नियमान्वये,

$$\text{ना पा} = \text{स्थि}$$

$$\text{यावरून,} \quad \text{ना} \times \frac{\text{पु}}{\text{घ}} = \text{स्थि}$$

$$\text{ना} \times \text{पु} = \text{स्थि} \times \text{घ}$$

वातीचा पुंज पु स्थिर असल्याने

$$\text{ना} \propto \text{घ}$$

घनता आणि निपीड यांचा वरील संबंध लक्षात घेऊन बॉईलचा समताप परिमा निपीड नियम पुढीलप्रमाणे लिहिता येईल " समताप

परिवर्तनात विशिष्ट पुंजाच्या वायूची परिमा निपीडाशी प्रतीपानुपाती असते; आणि त्याची घनता निपीडाशी अनुपाती असते."

बॉईलच्या समताप परिमा निपीड नियमाच्या साहाय्याने वायूच्या समताप प्रत्यास्थता मापांकाचे (isothermal elasticity) गणन पुढील प्रमाणे करतां येते. वायूचे निपीड ना आणि परिमा पा असून समताप परिवर्तनानन्तर त्याच्या परिवर्तित अहां अनुक्रमे (ना + ना′) आणि (पा + पा′) झाल्यास,

$$(\text{ना} + \text{ना}') \times (\text{पा} + \text{पा}') = \text{ना}.\,\text{पा}$$

$$\therefore \quad \text{ना}.\,\text{पा} + \text{ना}\,\text{पा}' + \text{ना}'\,\text{पा} + \text{ना}'\,\text{पा}' = \text{ना}\,\text{पा}$$

$$\therefore \quad \text{ना}.\,\text{पा}' + \text{ना}'\,\text{पा} + \text{ना}'\,\text{पा}' = 0$$

ना′ आणि पा′ अल्प असल्यास (ना′ पा′) ही अत्यन्त अल्प असलेली राशी उपेक्षून,

$$\text{ना}'\,\text{पा} + \text{ना}\,\text{पा}' = 0 \;\ldots\ldots \qquad (\text{म } ५\text{–}६)$$

$$\frac{\frac{ना'}{\frac{पा'}{पा}}}{} = ना.$$

वरील समीकारातील डाव्या पक्षातील ना' म्हणजे समताप परिवर्तनातील निपीडाचे वर्धन आणि $\frac{पा'}{पा}$ निष्पन्न वातीचा परिमा विकार असल्यामुळे,

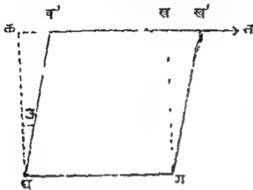
$$\frac{ना'}{\frac{पा'}{पा}} = \frac{\text{निपीडाचे वर्धन}}{\text{परिमा विकार}} = पै \text{ (समताप परिमा प्रत्यास्थतामापांक)} = ना$$

वातीचे निपीड पारदस्तम्भाने मापल्यास, पै ची अहां $\frac{धावल}{(\text{शि. मा.})^2}$ ह्या एककात पुढील प्रमाणे गणन करतात.

पारदस्तम्भाची उंची × पारदाची त्या तापावरील घनता × भू = पै
[धावल प्रति (शि मा)^2]

आयाम विकार आणि परिमा विकार या व्यतिरिक्त सान्द्राचे दुसरें विरूपण सम्भवतें आकृति ५–३ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे कखगघ या सान्द्राचा गघ भाग मेजावर पक्का गिळवून कग ही भुजा असलेल्या पृष्ठभागावर त ह्या स्पर्शरेखीय (tangential) प्रत्याबलाच्या क्रियेने कखगघ चे क'ख'गघ हें अल्प विरूपण झाल्यास,

$$\frac{त}{\angle कघक'} = \frac{त}{\angle ऊ}$$

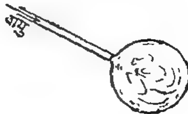


आ ५–३

ह्या निष्पत्तीस 'परिदृढता मापांक' (rigidity modulus) अशी संज्ञा आहे. परिदृढता मापांकाची अहर्ता वस्तूच्या द्रव्यावर अवलंबून आहे.

तल–आतति (surface tension)

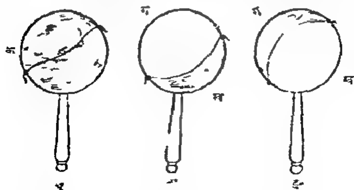
पारजातून बाहेर येणाऱ्या पाण्याच्या लहान थेंबाचा आकार (shape) थोडा बहुत (गोलाकार) नियमित दिसतो. धुळीच्या कणाच्या अथवा घासून काढलेल्या धातूच्या कणाच्या आकारात असा नियमितपणा नसतो. यावरून तरलांच्या पृष्ठभागाला विवक्षित आकार येण्याची प्रवृत्ति असल्याचे दिसून येते



आ. ५–४

मुलाच्या नळकांड्यातील धूपि–फुग्यात वायु जास्त भरला तर त्या फुग्याचा आकार वाढून पूर्वीचे पातळ आवरण ताणले जाते. फुग्यातील वायु बाहेर जाऊ दिल्यास फुग्याचा आकार पूर्वीच्या प्रत्यास्थतेने पूर्ववत् होतो. साबणाच्या विलयनाचा फुगाहि (आकृति ५–४ पहा) नळीच्या टोकाकडून जास्त वायु भरल्यास मोठा होतो, आणि वायु बाहेर जाऊ दिल्यास लहान होतो. यावरून, विलयनाच्या पातळ थराचा पृष्ठभाग प्रत्यास्थ वस्तुप्रमाणे प्रसरणाला विरोध करतो असे दिसते. विलयन आणि तरल यांच्या पृष्ठभागाचे प्रत्यास्थ वस्तूच्या पातळ पडद्याशी असणारे साम्य पुढील प्रयोगावरून अधिक स्पष्ट होईल.

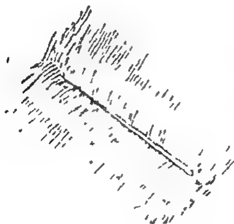
क हे तारेचे वलय असून या वलयाच्या एका व्यासाच्या दोन टोकांस व्यासापेक्षा थोडा जास्त लांबीचा बारीक दोरा बांधावा (आ ५–१ अ पाहा). तारेचे वलय साबणाच्या विलयनात बुडवून हलक्या हाताने बाहेर काढल्यास वलयावर विलयनाचा एक पातळ थर येतो. दोरा विलयनाने भिजून विलयनाच्या



आ [illegible]

पातळ थराच्या पृष्ठभागावर जसा ठेवावा तसा राहतो; म्हणजे विशिष्ट रेषामार्गावर स्थिर होण्याची दोऱ्याची प्रवृत्ति नसते. आकृती ५-५ (अ) पाहा. या विलयनाच्या ग भाग किंचित् तापविलेल्या सळईने स्पर्श करून नाहीसा केल्यास आकृति ५-५ (आ) मध्ये दाखविल्या-प्रमाणे दोरा ग हा अवशिष्ट भागाकडे ओढला जाऊन धनुष्यासारखा सर्वत्र समवक्र होतो. ग भाग नाहीसा केल्यास ग कडे दोऱ्याची कमान आकृति ५-५ (इ) मध्ये दाखविल्याप्रमाणे होते.

बारीक सुई आडवी धरून एका रुंद पात्रातील स्वच्छ पाण्याच्या पृष्ठभागावर हलकेच सोडल्यास, सुई पाण्याच्या पृष्ठावर तरंगते. ताणलेल्या रबरीच्या पातळ पडद्यावर जड वस्तु ठेवल्याने तो



आ ५-६

पडदा जसा खोलगट होईल त्याप्रमाणे सुईखालील पाण्याचा पृष्ठभाग थोडा खोलगट होऊन सुईचा भार तोलून धरतो असे पाण्याच्या पृष्ठतलाचे निरीक्षण केल्यास दिसून येते (आकृति ५–६ पाहा).

ताणलेल्या घृपीच्या पृष्ठभागावर स्पर्शरेखीय बल असते. तरल आणि विलयन यांच्या पृष्ठभागावर अशाच प्रकारचे सर्व दिशांनी सारखेच असणारे स्पर्शरेखीय बल आहे अशी कल्पना केल्यास, तरल पृष्ठाच्या आकुंचनादि प्रवृत्तींचा उलगडा होऊ शकतो आकृति ५–७ मध्ये दाखविलेल्या तरलाच्या पृष्ठभागावर 'कख' रेषा कोणत्याहि दिशेने काढावी या रेषेच्या एका



आ ५–७

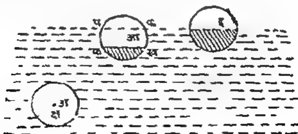
कडेवरील स्पर्शरेखीय बल ता आहे असे मानल्यास $\frac{\text{ता}}{\text{कख}}$ ह्या

निष्पत्तीस 'तल–आतति' अशी संज्ञा आहे ' $\frac{\text{ता}}{\text{कख}}$ =ति,(तल आतति)

ति या बलाची दिशा कख ला लंब असते दोरा आणि त्या सन्निध असलेल्या तरलाचे व्यूहाणु यांच्यावरील ग आणि ग या दोन भागावरील तल–आततीचे परिणामी बल विरुद्ध दिशेने असून दोरा कोणत्याहि रेषामार्गावर असला तरी या बलाचे समतोलन होते परंतु ग अथवा ख भाग नाहीसा झाल्यास दोरा आणि त्या सन्निध असलेले तरलाचे व्यूहाणु अवशिष्ट भागावरील अतुलित (unbalanced) तलाततीने अवशिष्ट भागाकडेच ओढले जातात

तलाततीचा व्यूहाणु-बल सिद्धान्त
(molecular theory of surface tension)

तलाततीची उपपत्ती लाप्लास् या शास्त्रज्ञाने सुचविली. 'व्यूहाणूमधील अंतर अल्प असल्यास त्यांचे परस्परावरील आकर्षण बल बरेच जास्त असते, आणि अंतर अल्प नसल्यास हे व्यूहाणु-आकर्षण बल उपेक्षणीय असते,' ही या उपपत्तीतील मध्यवर्ती कल्पना आहे. या उपपत्तीनुसार असे म्हणता येईल की, अ येथील व्यूहाणु भोवती क्ष त्रिज्येचा गोल कल्पिल्यास ज्या व्यूहाणूंचे केंद्र या गोलाच्या आत नसतील त्यांचे अ येथील व्यूहाणूवरील आकर्षण बल उपेक्षणीय असत (आ ५-८ पाहा). क्ष ला 'व्यूहाणु-आकर्षण' बलाच्या अंतराची मर्यादा म्हणता येईल. अ, आ, इ .. (आकृति ५-९ पाहा) येथील व्यूहाणूवरील व्यूहाणु-आकर्षण बलाचे विवेचन पुढीलप्रमाणे करता येईल. अ भोवती काढलेला क्ष त्रिज्येचा गोल संपूर्णपणे सरलात आहे म्हणून अ येथील व्यूहाणूला आकर्षित करणाऱ्या या गोलातील व्यूहाणूंची संख्या सर्व दिशांनी सारखीच असते यामुळे अ येथील व्यूहाणूवर आकर्षण बल सर्व दिशांनी सारखेच असल्याने अ येथील व्यूहाणूवरील परिणामी बल शून्य आहे

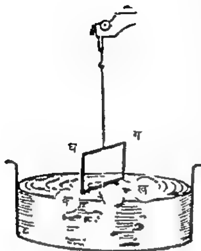


आ ५-८

अ येथील व्यूहाणूवर परिणामी आकर्षण बल अधोलंब आहे, कारण क्ष या रेखाङ्कित भागातील व्यूहाणूच्या आकर्षणबलाचे समतोलन करण्यास तरलाच्या पर्फ मुक्तपृष्ठावरील भागात बाष्पस्थितीतील व्यूहाणूची संख्या पुरेशी नाही. तसेच तरलपृष्ठावरील इ येथील व्यूहाणूवर रेखाङ्कित गोलार्धातील व्यूहाणूचे आकर्षण बल अधोलम्ब आहे. हें अधोलम्ब आकर्षण बल, व्यूहाणु जसजसा तरलाच्या मुक्त पृष्ठाकडे येईल तसतसे वाढत जावें असें आकृति ७–८ वरून ध्यानात यईल (अ आणि इ भाग पाहा). या व्यूहाणु–आकर्षण बलाच्या क्रियेने तरलाच्या मुक्त पृष्ठावरील व्यूहाणूंची संख्या शक्य तितकी अल्प करून तरलाच्या आंतर भागात शक्य तितके जास्त व्यूहाणु सामाविण्याची प्रवृत्ति तरलात उत्पन्न होईल. तरलाच्या मुक्त पृष्ठाचें क्षेत्रफळ घटविल्याने मुक्तपृष्ठावरील व्यूहाणूंची संख्या अल्प करणें शक्य असते. यावरून तरलाच्या मुक्तपृष्ठाची संकोचनाकडे प्रवृत्ति का असावी याची स्थूल कल्पना येईल.

तरलाचे लहान थेंब गोलाकार असतात. परंतु मोठ्या थेंबांना सपाटाच्या स्तराचा (plane surface) आधार असल्यास त्याचा आकार चापट आणि आधार नसल्यास उर्ध्व दिशेने लांबट असा असतो. पाणी भरलेल्या घृषि–पिशवीला (rubber bag) आधार दिल्यास तीहि अशीच चापट होते. आधार नसल्यास पाण्याच्या भाराने घृषि-पिशवीहि लांबट होते. यावरून, तरलाच्या थेंबाचा भार आणि तलातति, या दोहोंवर थेंबाचा आकार अवलंबून आहे हें ध्यानात येईल.

तलातति बल मापण्याच्या रीतीचे दिग्दर्शन करून हा विभाग संपवू. क्ष्यगघ ही तारेची चौकट तुलेच्या एका पारड्याला अडकवून दुसऱ्या पारड्यात योग्य भार टाकून तुलेचे समतोलन करतात.



आ. ५–९ (अ)

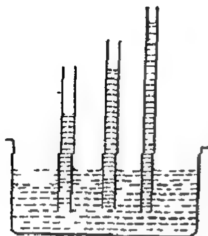
त्यानंतर, पात्रातील तरलाचा पृष्ठभाग कख या क्षैतिज तलातील तारेला स्पर्श करील इतक्या उंचीवर एक काच-पात्र स्थिर ठेवतात (आकृति ५–९ अ पाहा). तरलाच्या पृष्ठभागावरून कख तार वर उचलण्यास विरोध करणारे बल (ति × २ कख) इतके असून तुलेच्या दुसऱ्या पारड्यात पु हा योग्य भार टाकून कख तार तरलाच्या पृष्ठावरून वर उचलताना तुला समतोल राखता येते

∴ ति २ कख = पु भ

या समीकरणात २ हा गुणक घेण्याचे कारण तारेच्या दोन कडास तरलाच्या पातळ थराच्या दोन मुक्त पृष्ठाचा स्पर्श झालेला असतो (आ ५–९ आ पाहा) वरील समीकरणात तारेच्या दोन कडाची लांबी २ × कख न घेता तारेचा जो भाग तरलास स्पर्श करतो त्या भागाची परिधि (perimeter) घेतल्यास, गणनात जास्त परिशुद्धता येते.



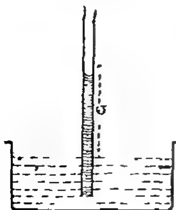
आ. ५–९ (आ)



आ ५-१०

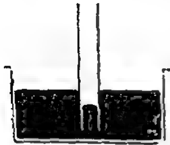
केशालत्व (Capillarity)

आकृति ५-१० मध्ये दर्शविलेल्या क ह्या केशाल काचनळीचें एक टोक पात्रातील तरलांत बुडवून नळी उभी धरल्यास नळींत तरल शिरतें, आणि नळींतील तरलाची पातळी पात्रातील तरलाच्या पातळीपेक्षा जास्त असते काचेचा आणि तरलाचा स्पर्श नळीच्या छिद्राच्या २ × प्या × त्र या परिघावर होतो (त्र ही वर्तुलाकार छिद्राची त्रिज्या आहे) केशाल नळींतील तरलाचा पृष्ठभाग आकृति ५-११ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे न्युब्ज (concave) असल्यास काच आणि तरल यांच्या सम्पर्कावरील ऊर्ध्वोन्मुख अभिलागी (adhesive) बलानें छ या तरलस्तम्भाचा भार तोलला जातो यावरून,



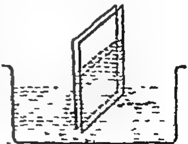
आ ५-११

$$\text{ति} \times २\ \text{प्या}\ \text{त्र} = (\text{प्या}\ \text{त्र}^2\ \text{छ}) \times \text{घ} \times \text{भू}$$


आ ५–१२

वरील समीकारात घ ही तरलाची घनता आहे. पारदात सूक्ष्म छिद्राची नळी वर प्रमाणे धरल्यास नळीतील पारदाची पातळी पात्रातील पारदाच्या पातळीच्या खाली असते (आ ५–१२ पाहा). नळीतील पारदाचा पृष्ठभाग उद्‌गत (convex) असल्याने काच आणि पारद यांच्या संस्पर्शरेषेवरील अभिलागी बल अधोलम्ब असते आणि ह्या अधोलम्ब बलाने नळीतील पारदाचा स्तम्भ बाहेरील पारदाच्या पृष्ठभागापेक्षा खाली दाबला जातो.

काचेच्या दोन अरुंद पट्ट्यांची टोके तरलात बुडवून पट्ट्या परस्पराजवळ उभ्या धरल्यास, त्यामधील भागातहि आकृति ५–१३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे तरल स्तम्भ उत्पन्न झालेला दिसेल. ह्या घटनेचे स्पष्टीकरण तलातति बलाच्या साहाय्याने वर दर्शविल्याप्रमाणे करता येते. टीप कागद, दिव्याची वात कपडा इत्यादि वस्तु तंतुमय असतात आणि त्यांच्या तंतुमधील भागात आकृति संख्या ५ – १२ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे तरल पसरते अशा रीतीने

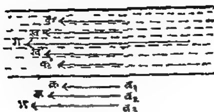

आ ५–१३

सूक्ष्म छिद्र मार्गातून तरल पसरण्याच्या क्रियेला 'केशाल्त्व' ही संज्ञा आहे. सच्छिद्र भूमीत पाणी किंवा दुसरे तरल केशालत्वाने बऱ्याच दूरवर पसरते.

आलग्नत्व (viscosity)

पाणी एका पात्रातून दुसऱ्या पात्रात लौकर आनता येते. पण मध, काकवी, औद्भिद् तेले (vegetable oils) इत्यादि तरल एका पात्रातून दुसऱ्या पात्रात ओतावयास बराच वेळ लागतो. यावरून पाणी हे शीघ्र प्रवाही अथवा 'चलिष्णु' mobile) आणि मध, काकवी, तेले इत्यादि मंदप्रवाही अथवा 'आलग्न' (viscous) आहेत. असे म्हणतात. चलिष्णु आणि आलग्न असा तरलात भेद का असावा हे पुढील विवेचनावरून लक्षात येईल.

पावसाळ्यात नदीला पूर आला असता प्रवाहाचा वेग वाढत जात असता आणि त्या प्रवाहात ठिकठिकाणी भोवऱ्यासारखी गति उत्पन्न झालेली आपल्याला दिसते. पावसाळ्यानंतर त्याच नदीचा मंद प्रवाह पाहिल्यास त्यात भोवऱ्यासारखी गति कोठेच दिसत नाही. या मंद प्रवाहाचा अभ्यास केल्यास असे दिसते की, नदीच्या काठाशी पाण्याच्या प्रवाहाची गति फारच अल्प असते आणि जसजसे पात्राच्या मध्याकडे जावे तसतसा प्रवाहाचा वेग वाढत जातो. अशा प्रवाहात फुले, कागद या सारख्या पाण्यावर तरंगणाऱ्या वस्तू टाकल्यास, त्या इकडे तिकडे न जाता प्रवाहाच्या दिशेनेच गतिमान होतात. मंद प्रवाहाच्या या गतीला 'रेषाप्रवाह (line flow) आणि भळवळ (भोवरे) निर्माण झालेल्या गतीला (turbulent flow) 'प्रक्षुब्ध प्रवाह' अशा संज्ञा आहेत. केशाल-नळीतून (capillary tube) वाहणाऱ्या तरल-प्रवाहाच्या परिशुद्ध अभ्यासाने, तरलाच्या वरील दोन गतिसंबंधी काही घटना



आ ५–१४

स्पष्ट झालेल्या आहेत सरल–प्रवाहाचा प्रवेग अल्प असल्यास नळीच्या भितीशी सस्पर्शी असलेल्या तरलाची गति जवळ जवळ शून्य असते आणि नळीच्या भितीकडून जसजसे अक्षाकडे जावे तसतसा तरलाचा प्रवेग वाढत जातो आकृति ५–१४ पाहा क आणि क' येथील तरलाच्या प्रवेगापेक्षा ख आणि ख' येथील तरलाचा प्रवेग जास्त असून नळीच्या अक्षाजवळील भागातून वाहणाऱ्या तरलाचा वेग त्याहून जास्त असतो यावरून हें लक्षात येईल की, क आणि ख ह्या थराचे प्रवेग अनुक्रमे $व_1$ आणि $व_2$ असल्यास ख जवळील तरलाचा पातळ थर क जवळील थरावरून $(व_2-व_1)$ या सापेक्ष प्रवेगाने घसरतो ग येथील प्रवेग $व_3$ असल्यास, ग भागातील थर, ख जवळील पातळ थरावरून $(व_3-व_2)$ या सापेक्ष प्रवेगाने घसरतो दोन भान्द्रतल एकमेकावर घसरत असल्यास त्याच्या सापेक्ष गतीला विरोध करणारे संघर्षबल असते असे आपण म्हणतो तसाच काहीसा प्रकार ख जवळील थर क जवळील थरावरून घसरताना होत असावा तरलाच्या या दोन थरामधील सापेक्ष गतीला विरोध करणाऱ्या बलास आंतरसंघर्ष बल ही संज्ञा योग्य होईल तरलातील ह्या आंतरसंघर्ष बलाला भौतिकीत 'आलग–बल' (viscous force) म्हणण्याचा प्रघात आहे तरलाचे आंतर–संघर्षबल जास्त असल्यास तरलाच्या कोणत्याहि

दान थरातील सापेक्ष प्रवेग अल्प असतो, म्हणून ग, ख, क येथील थराचे अनुक्रमे सापेक्ष प्रवेग ($व_3 - व_2$), ($व_2 - व_1$), ($व_1 - 0$) इत्यादि अल्प असतात म्हणुन $व_1$, $व_2$, $व_3$ इत्यादी प्रवेगहि अल्प असतात तरलाच्या निरनिराळ्या थराचा प्रवेगहि वरील प्रमाणे अल्प असल्याने नळीतून प्रति कालिकेत प्रवाहाने बाहेर येणाऱ्या तरलाची परिमा अल्प असते ताप आणि निपीड समान असता प्रतिकालिकेत केशाल नळीतून बाहेर येणाऱ्या पाणी, सुषव, मधुरी (glycerine) आणि मधु (honey) याच्या परिमा मापन केल्यास असे दिसते की, पाणी, सुषव इत्यादींची परिमा मधुरी आणि मधु याच्या परिमेपेक्षा जास्त असते यावरून पाणी, सुषव इत्यादी तरलांचे आन्गत्व (आनर-घर्षण वल) मधुरी, मधु इत्यादि तरलांपेक्षा बरेच अल्प असते तरलाच आलगत्व तापवर्धनाने न्यून होते यावरून तरलाच्या आनर-घर्षण वलासंबंधी बराच उहापोह पुढे आलेल्या अवस्था तरी त्यातून निश्चित असा सिद्धान्त निघालेला नाही

खळबळाटाच्या गतिसंबंधीच्या सारांशात असे दिसून आले आहे की, कोणत्याहि तरलाच्या प्रवाहाचा वेग काही विशिष्ट मर्यादेपर्यंत रेषागतीय असतो या मर्यादेपेक्षा प्रवाहाचा प्रवेग वाढल्यास त्या प्रवाहात खळबळाट उत्पन्न होते अशा प्रवाहात तरलाचे व्यूहाणु एका दिशेनच सर्वत्र स्थानांतर न करता भिन्न दिशांत स्थानांतर करतात आणि पुन्हा पूर्वीच्या दिशेने गतिमान होतात या प्रवाहात तरलाचा एखादा व्यूहाणु पुढच्या क्षणी कसे स्थानांतर करील हे सांगणे अशक्य असते. प्रवाहात खळबळाट उत्पन्न होण्यास प्रवाहाचा वेग काही विशिष्ट मर्यादेच्या जास्त असावा लागतो या प्रवेगास 'सीमा प्रवेग' (critical velocity) असे म्हणतात या सीमा-प्रवेगाची अहा तरलाच्या गुणधर्मावर अवलंबून आहे आलगत्व जास्त असलेल्या तरलाचा सीमाप्रवेग जास्त असतो, आणि आलगत्व अल्प

असणाऱ्या तरलाचा सीमाप्रवेग अल्प असतो. म्हणून अल्प आलगत्वाच्या तरलाचा प्रवेग अल्प असला तरच या तरलाचा रेसा-प्रवाह शक्य असतो.

विक्षुब्ध प्रवाहामध्ये प्रवेग जास्त असून प्रवेगाची अर्हा आलगत्वावर फारशी अवलंबून नसते, म्हणूनच शिलारस (lava) मदप्रवाही असूनहि ज्वालामुखी-स्फोटाचे वेळी शिलारस लोंढ्या सारखा शीघ्रगतीने वाहतो.

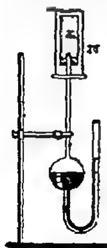
उपस्नेहन (lubrication)

तेलासारख्या मदप्रवाही पदार्थाचा आजच्या यन्त्रयुगात फार उपयोग आहे. यन्त्राचे एकमेकावर घसरणारे तल हे जितके गुळगुळीत तितके त्यात सघर्षबल अल्प असते या घसरणाऱ्या सान्द्र भागावर थोडें तेल टाकल्यास दोन सान्द्रतलांच्या मध्ये तेलाचा पातळ थर आल्याने सघर्षबल बरेच अल्प होते असा अनुभव आहे. दोन सान्द्र-तलाच्या मध्ये तेलाचा पातळ थर आल्याने सान्द्र तलाच्या सापेक्ष गतीने त्या तलावरील तरलाच्या पातळ थरातहि सापेक्ष गति उत्पन्न होते आणि सान्द्रतलावरील सघर्षबल नाहीसे होऊन यन्त्राच्या भिन्न भिन्न भागाच्या सापेक्ष गतीला तेलाच्या आतर-सघर्ष बलाचा अल्प विरोध होतो तेलातील हे आतर-सघर्षबल सान्द्रतलावरील सघर्षबलाच्या मानाने अल्प असते

उपस्नेहनाच्या घटनेमध्ये घसरणाऱ्या अथवा भ्रमण करणाऱ्या यन्त्राच्या भागाचा भार व त्याच्या सापेक्ष गतीची मात्रा याचाहि विचार करावा लागतो बहुधा सघर्ष-बल न्यून करण्यास अल्प आलगत्वाचे तेल वापरतात परंतु ह्या सामान्य नियमाला अपवाद आहेत यन्त्राच्या सघर्षित भागाचा भार, ताप इत्यादी जास्त असल्यास जास्त आलगत्वाचे तेल उपयोगात आणतात, कारण सान्द्राच्या सान्निध्याने तेलाचा ताप वाढून त्याचे आलगत्व पुरेसे न्यून होत

प्रसृति (diffusion) आणि आसृति (osmosis)

एका उंच रम्भाकार काच-पात्रात थोडें ताम्रशुल्विय विलयन घेऊन तें पात्र मेजावर स्थिर ठवावें काचेची नळी रम्भपात्राच्या कडेला स्पर्शून तिचे खालचें टोक विलयनाच्या पातळीला स्पर्श करील अशा स्थितीत धरावें आणि नळीतून थोडें थोडें पाणी पात्रात टाकावें हें पाणी विलयनातें न मिसळता, या पाण्याचा थर विलयनावर अलग राहतो हें रम्भपात्र कांही दिवस स्थिर राहू दिल्यास, पाण्याच्या वरील थरात ताम्रशुल्विय विलयनाचा निळेपणा आढळतो ताम्रशुल्वियाचे व्यूहाणु स्थानातर करून विलयनावरील पाण्यात मिसळतात पाण्यावर जर वरीलप्रमाणे सुषव (alcohol) टाकला तर काही वेळाने सुषव पाण्यात मिसळतो. यावरून, तरल आणि प्रविलीन (dissolved) झालेले सान्द्र याच्या व्यूहाणूना स्थानांतरणाची गति असते असें दिसतें तरलाच्या अशा रीतीनें एकमेकात मिसळण्याच्या घटनेला 'प्रसृति' अशी सज्ञा आहे ताप वर्धनाने आणि सवद्रता (concentration) वाढविल्याने प्रसृति शीघ्रतेने होते तरलापेक्षा वाति प्रसृतिद्वारा जास्त शीघ्रतेने एकमेकात मिसळतात त्यातहि अल्प घनता असलेल्या वातीच्या व्यूहाणूची प्रसृति-क्षमता (diffusivity) बरीच जास्त असते



आ. ५–१५

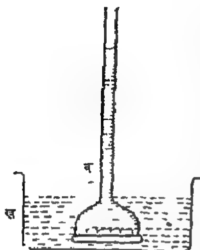
आकृति ५–१५ मध्ये क या सच्छिद्र पात्रात (porous vessel) वायु आहे या पात्राला व निर्पीडमापनाचा एक बाहु जोडलेला आहे व बोवती ख हें उदजन भरलेलें काचपात्र उलटें धरलें आहे उदजनाची घनता अल्प असल्यामुळे तो काचपात्रा

बाहेरील वायूत त्वकर मिसळत नाही व पात्र थोडा वेळ स्थिर धरल्यास, क मधील वायूचे निपीड वाढले आहे असे निपीडमान दर्शविते यावरून क मधील वायू ज्या प्रमाणात प्रसृतीने बाहेर पडतो त्यापेक्षा जास्त प्रमाणात उद्जन प्रसृतीने क मध्ये शिरतो असे दिसते ख काचपात्र काढून घेतल्यास क मधील वातीचे निपीड न्यून होत आहे असे निपीडमानाने समजते या स्थितीत बाहेरील वायु क मध्ये ज्या प्रमाणात प्रसृतीने शिरतो, त्यापेक्षा जास्त प्रमाणात क मधील वायु आणि उद्जन यांच्या मिश्रणातील उद्जन बाहेर पडतो

फुप्फुसातील सकीर्ण केशाल नलिकातून वाहणाऱ्या रक्तातील प्रागारद्विजारेय (carbon dioxide) केशालनळांच्या पातळ आवरणातून प्रसृतीने बाहेर पडतो आणि श्वसनाने आत घेतलेल्या वायूतील जारक (oxygen) केशालनळ्यांतील रक्तात प्रसृतीने मिसळतो अशा रीतीने रक्ताला जारकाचा पुरवठा होतो, आणि प्रागारद्विजारेयाचे प्रमाण वाढलेला वायु आपण उच्छ्वासाने बाहेर टाकतो यावरून प्रसृतीचे महत्व लक्षात येईल

वरील घटनेत प्रागारिक (organic) पदार्थाच्या पातळ पडद्यातून जारक आणि प्रागारद्विजारेय यांचे व्यूहाणु प्रसृत होऊ शकतात परंतु काही विशिष्ट द्रव्यांचे व्यूहाणु अशा पडद्यातून प्रसृत होत नाहीत पातळ पडद्याच्या ह्या प्रमूल्य (selective) प्रसृति गुणधर्माचे आणखी एक उदाहरण खाली दिलेले आहे

क या शृगाल निवापाचे रुंद तोंड अर्धातिवध्य कलेने (semi-permeable membrane) बंद केले आहे निवाप उलटा करून निवापात नळीच्या तोंडातून थोडे साखरेचे विलयन टाकतात विलयनाची पातळी आणि ख पात्रातील पाण्याची पातळी सारखी



आ ५–१६

राहील अशा बेताने निवात स मधील पाण्यात बुडविनात (आकृति ५–१६ पाहा). या स्थितीत बाहेरील पाणी निवा-पात शिरतें आणि निवात काही काळ स्थिर ठेवल्यास निवाता-तील पाण्याचा स्तम्भ विशिष्ट उंची इतका झाल्यानंतर निवा-पात पाणी येण्याचें बंद होतें तथापि स पात्रातील पाण्यात साखरेचा काहीहि अंश प्रसृत झालेला आढळत नाहीं. अर्धानि-बंध्य कल्लेतून पाण्याचे व्यूहाणु प्रसृत होतात, परंतु साखरेचे व्यूहाणु प्रसृत होत नाहीत काही द्रव्यांचे व्यूहाणु कल्लेतून जाऊ शकतात आणि दुसऱ्या काहींचे जाऊ शकत नाहीत. या प्रवृत्य प्रसृति गुणधर्माला 'आसृति' (osmosis) अशी संज्ञा आहे वरील सपरीक्षेतील स्थिर उंची असलेल्या जलस्तम्भाच्या विरोधी निपीडाने विलयनात कल्लेतून पाणी येण्याचें थांबते या जल-स्तम्भाच्या निपीडास विलयनाचें 'आसृति निपीड' (osmotic pressure) ही संज्ञा आहे.

वनस्पती आपल्या मुळांच्याद्वारें भूमीतील पोषक द्रव्यें आणि पाणी आसृतीनें शोषतात बियाणें शेतात पेरण्यापूर्वी त्या बियाणात थोडी ताम्रशुल्वियाची पूड मिसळतात हें बियाणें पेरल्यानंतर भूमीतील पाण्यात ताम्रशुल्वियाचे विलयन होते बीजांकुराची हानि

करणाऱ्या भूमीतील जिवाणूंचा (fungi) ताम्रशुल्बियाच्या विषारी परिणामाने नाश होतो परंतु ताम्रशुल्बियाच्या विलयनातील केवळ पाणीच बियाण्याच्या वरील आवरणातून आसृतीने आत शिरून बी रुजण्याच्या क्रियेला आरंभ होतो, आणि बीजांकुरावर ताम्र-शुल्बियाच्या व्यूहाणूचा विषारी परिणाम होत नाही

प्रश्न

(१) प्रत्यास्थता मापाकाची परिभाषा द्या. बाईलच्या स प नि नियमाप्रमाणे परिमा–निपीड परिवर्तन होणाऱ्या वातीच्या समताप प्रत्यास्थता मापाक सूत्राची व्युत्पत्ति द्या

(२) रेखीय प्रत्यास्थता मापाकाची परिभाषा देऊन हा मापाक सपरीक्षेने कसा निश्चित कराल याचे सविस्तर वर्णन करा

(३) हुक्च्या प्रत्याबल–विकार नियमाचे प्रतिपादन करा

एका सपरीक्षेत २२ सहस्रधान्याचा भार १ सि मा व्यास आणि ५ मान लांबीच्या तारेच्या टोकास अडकविल्यास, तारेच्या लांबीत १४ सि मा इतकी वाढ होते भू चो अरी ९८० $\frac{\text{सि मा.}}{\text{का}^2}$ असल्यास, तारेच्या द्रव्याचा रेखीय प्रत्यास्थता मापाक किती असावा ?

ऊष्मा

प्रकरण ६

तापमिति

एखादी वस्तु शीत आहे की उष्ण आहे याचे ज्ञान आपणास स्पर्शेंद्रियाच्याद्वारे मिळणाऱ्या संवेदनाने होते. शीत वस्तु ऊन पाण्यात किंवा ज्योतीत ठेवल्यास ती उष्ण होते. या घटनेचे स्पष्टीकरण असे देतात की, उष्ण वस्तूच्या स्पर्शाने अथवा सान्निध्याने उष्ण वस्तूतील काही उष्मा शीत वस्तूस मिळतो, म्हणून शीत वस्तूतील उष्मा वाढून ती उष्ण होते. यावरून वस्तूची शीत अथवा उष्ण अवस्था ही तिच्यातील उष्म्यावर अवलंबून असते. परंतु उष्मा ही कोणत्याहि प्रकारची द्रव्यराशि नाही, कारण कोणतीहि वस्तु तापविली असता तिच्या भारात अंतर होत नाही. भार हा द्रव्यराशीचा मूळ गुणधर्म आहे. उष्मा हा द्रव्यराशि असतो तर तापविल्याने वस्तूचा भार वाढला असता. तो तसा वाढत नाही. याअर्थी उष्मा हा द्रव्यराशि प्रकार आहे असे म्हणता येत नाही. उष्मा हे ऊर्जेचे एक स्वरूप आहे. ह्यासंबंधी विशेष चर्चा चौदाव्या प्रकरणात केली आहे.

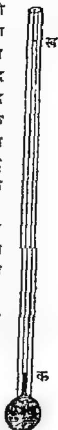
वस्तूतील उष्मा आणि तिची उष्ण अवस्था यांचा परस्पर संबंध नीट ध्यानात येण्यासाठी पात्रातील पाणी आणि त्याच्या पृष्ठभागाची पात्राच्या तळापासूनची उंची यांचा संबंध लक्षात घेऊ. पात्रात अधिकाधिक पाणी घालावे तसतशी त्याच्या पृष्ठभागाची उंची वाढत जाते. त्याचप्रमाणे एखाद्या वस्तूस जसजसा उष्मा द्यावा तसतशी तिची उष्णावस्था वाढत जाते. उंच पातळीवरून पाणी नीच पातळीवर येते, त्याचप्रमाणे अधिक उष्णावस्थेत असणाऱ्या वस्तूमधील उष्मा कमी उष्णावस्थेत असणाऱ्या वस्तूला मिळतो

जसे, (१) पाण्याचा पुन्ज आणि (२) त्याच्या मुक्त पृष्ठाची पात्राच्या तळापासूनची उंची या दोन भिन्न राशीचे मापन आपण भिन्न एककांनी करतो, तद्वतच (१) वस्तूतील उष्मा आणि (२) वस्तूची उष्णावस्था यांचे मापनहि भिन्न प्रकारे करावे लागते

वस्तूची उष्णावस्था निश्चित संख्येने व्यक्त करण्याकरता कोणकोणते संकेत योजलेले आहेत हे आता पाहू वस्तूच्या उष्णावस्थेचा निर्देश करणाऱ्या संख्येस 'ताप' (temperature) आणि ही संख्या ज्या श्रेणीमधील असते तिला 'तापश्रेणी (scale of temperature) असा संज्ञा आहेत स्पर्शेंद्रियाच्याद्वारे आपणास जें ज्ञान मिळते, ते सापेक्ष असते उदाहरणार्थ क, ख ग या तीन भांड्यात अनुक्रमे कढत, कोमट आणि गार पाणी ठेवले क आणि ग भांड्यात एक एक हात बुडवून मग आपण दोन्ही हात मधल्या ख या भांड्यात बुडविल्यास, जो हात आपण पूर्वी कढत भांड्यात बुडविला होता त्या हातास ख मधील कोमट पाणी गार भासेल, जो हात पूर्वी आपण गार पाण्यात बुडविला होता त्या हाताला ख मधील हेच पाणी जास्त उष्ण वाटेल म्हणून वस्तूच्या उष्णावस्थेचे यथायोग्य मापन करणें असल्यास तें मापन इंद्रिय संवेदना निरपेक्ष असणें आवश्यक असतें

उष्म्यामुळे वस्तूच्या परिमेंत वाढ होते या घटनेचा पुष्कळ-प्रमाणें तापमापनासाठी उपयोग करतात तळाशी कन्दाकार असलेल्या एका लांब पोकळ नळीत पारद घेऊन, नळीचा कन्द द्रवद् हिमात ठेवतात आणि नळीतील पारद ज्या उंचीवर जाईल तेथें खूण करतात (आकृति ६–१ पाहा) नळी द्रवद् हिमातून बाहेर काढून काही वेळाने पूर्वीप्रमाणेंच तिचा कन्द पुन्हा द्रवद् हिमात बुडविल्यास, नळीतील पारदाची उंची त्या खुणेवरच स्थिर होते त्याचप्रमाणे

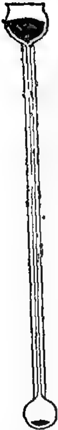
या नळीचा कन्द उकळत्या शुद्ध पाण्याच्या वाफेत धरून, नळीतील पाण्याची उंची ज्या भागापर्यंत चढेल तेथें ख ही दुसरी खूण करतात. पारद भरलेला हा कन्द एखाद्या वस्तूला स्पर्श करून ठेवला असताना, नळीतील पारदाची उंची क स्थानापर्यंत असल्यास, त्या वस्तूचा ताप द्रवद् हिमाच्या तापाइतका आहे असें म्हणता येईल. हाच कन्द दुसऱ्या एखाद्या वस्तूशीं स्पर्शित असताना नळीतील पारदाची उंची ख या खुणेपर्यंत गेल्यास, या दुसऱ्या वस्तूचा ताप उकळत्या शुद्ध पाण्याच्या वाफेइतका आहे असें मानतात. द्रवद् हिमाच्या तापापासून तो प्रमाण निपीडावरील शुद्ध प्रवाष्पाच्या (water vapour) तापापर्यंत कन्दातील पारदाचा ताप वाढल्यास, पारदाचें परिमावर्धन क आणि ख या दोन खुणामधील नळीच्या धारितें इतके असतें. द्रवद् हिमाचा ताप आणि उकळत्या पाण्याच्या वाफेचा ताप या दोहोंतील तारतम्याचे १०० समान तापापर्यंत भाग केले आहेत अशी कल्पना करू. आता, पारदाचें परिमावर्धन क आणि ख मधील धारितेच्या $\frac{१}{१००}$ झाल्यास, पारदाचा ताप १ अंशानें वाढला पाहिजे असा तापमापनाचा संकेत आहे. दुसऱ्या शब्दांत असें म्हणता येईल कीं, समान परिमा-परिवर्तनानें समान तापपरिवर्तन मापण्याचा प्रघात आहे.



आ ६-१

हें तापमापन जास्त परिशुद्ध होण्याकरिता पुढीलप्रमाणें पारद भरलेल्या तापमानाचा उपयोग करितात.

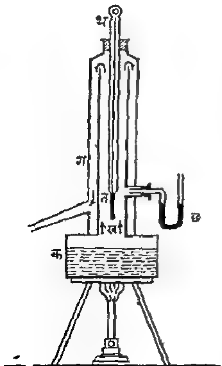
एका सकीर्ण एकरूप छिद्र असलेल्या नळीच्या एका टोका-जवळील भाग ज्योतीवर धरून, काच वितळण्यापूर्वी ती मृदु



अवस्थेंत असताना नळीची दोन्ही टोकें विरुद्ध दिशांनी ओढतात नळीचा ओढलेला हा अरुंद भाग ज्योतीवर धरून नळीचे तेथील छिद्र बंद करतात हें बंद केलेलें नळीचे टोक ज्योतीवर धरून कांच मृदु अवस्थेंत आल्यावर नळीच्या दुसऱ्या टोकांतून वायु फुंकून नळीचें तप्त टोक कन्दाकार बनवितात या कन्दाचा तळ फोडून नळीच्या या टोकाला निवापाचा आकार आणतात. आतापर्यंत उघडें असलेलें नळीचें टोक ज्योतीवर धरून बंद करतात आणि निवापातून वायु फुंकून नळीच्या दुसऱ्या टोकाला योग्य परिमेच्या कन्दाचा आकार देतात (आकृति ६–२ पाहा). त्वक्षेत (cork) किंवा पात्राच्या अन्य आवरणांत तापमान बसविणें सोयीचें व्हावें म्हणून तापमानाचा कन्द सामान्यत स्तम्भाकार असतो नळीच्या निवापांत थोडा पारद घालून तिचें दुसरें टोक लहान ज्योतीवर तापविल्यास कन्दातील वायूचें विस्तरण होऊन, तो पारदांतून बुडबुड्याच्या रूपांत बाहेर पडतो कन्द थंड झाल्यावर त्यांतील वायूचें निपीड बाहेरील वायु-मण्डलीय निपीडापेक्षा थोडें अल्प झाल्यानें, निवापांतील पारद नळीच्या छिद्रांतून खालीं कन्दांत उतरतो अशा रीतीनें कन्द थाळीपाळीनें तापवून आणि थंड करून, कन्दांत आणि नळींत निवापापर्यंत पारद पूर्ण भरतात यानंतर या तापमानाचा ज्या उच्च तापापर्यंत उपयोग करावयाचा असतो, त्या तापापर्यंत कन्दांतील पारद तापवून त्या अवस्थेंत निवापाजवळील नळीचा भाग ज्योतीवर धरून बंद करतात तापमानाच्या नळींत पारद भरण्यापासून तो तिचें वरचें टोक बंद करण्याच्या क्रियेपर्यंत तापमान अनेक वेळा

आ. ६–२

बऱ्याच उच्च तापापर्यंत तापविणें अवश्य असतें यानंतरच्या काळांत तापमान कोष्णतापापर्यंत थंड झालें तरी कांचेचें संकोचन तत्काळ होत नाहीं. थंड झालेल्या कांचेचें दीर्घ काळानंतर संकोचन पूर्ण होतें; म्हणून वरचें टोंक बंद केल्यानंतर ह्या तापमानाच्या स्थिर-बिन्दूंचें (fixed points) निश्चयन कांहीं महिन्याच्या कालावधीनंतर करतात तापमानाच्या विवेचनांत स्थिर ताप या अर्थी स्थिर-बिन्दु असा शब्दप्रयोग वापरण्याचा प्रघात आहे.



आ ६-३

उच्च स्थिर बिन्दूचें (upper fixed point) निश्चयन करण्याकरतां आकृति ६-३ मध्यें दाखविलेलें साधित्र उपयोगांत आणतात क या तांब्याच्या पात्रातील उकळणाऱ्या पाण्याचें बाष्प ख या पोकळ रम्भांतून बाणानें दर्शविलेल्या मार्गानें जाऊन ग या बाहेरील रम्भांत पसरतें त्यामुळें ख रम्भाचा ताप प्रवाहाच्या तापासमान होतो आकृति ६-३ मध्यें दर्शविल्या प्रमाणें पारदस्तम्भाचा वरचा

भाग थ त्वक्षेवर जेमतेम दिसेल अशा रीतीने त तापमानाचा कन्द साधित्रातील प्रवाप्पात ठेवतात. नळीतील पारदस्तम्भ ज्या मागापर्यंत पोहचतो तेथे खूण करून ठेवतात पाण्यांत सान्द्राचे विलयन झाल्यास अथवा इतर दुसरी कोणतीहि अशुद्धि असल्यास, उकळत्या पाण्याचा ताप (बुदबुदाक = boiling point) हा त्या पाण्यातील विलायक (solute) अथवा इतर अशुद्धि (impurity) यावर अवलबून असतो. म्हणून तापमानाच्या उच्च स्थिर बिन्दूचे निश्चयन करताना, तापमानाचा कन्द उकळत्या पाण्यात न ठेवता तो प्रवाप्पात राहील अशी काळजी घेतात साधित्रातील प्रवाप्पाचे निपीड वायुमण्डलीय निपीडाइतके आहे अथवा नाही हे छ या वाप्पमानाने (manometer) समजते तापमानाच्या नळीवर खूण करण्यापूर्वी वापीडमानाने वायुमण्डलीय निपीडाचे वाचन घेऊन या निपीडावरील प्रवाप्पाच्या तापाचे गणन योग्य सूत्राने करतात आणि या गणन केलेल्या तापाच्या अंकाचे अंकन उच्च ताप दर्शविणाऱ्या खुणेवर करतात

यानतर, तापमानाचा नीच स्थिर बिन्दु (lower fixed point) निश्चित करण्यासाठी पारदस्तम्भाचा पत्र हिम खडावर जेमतेम दिसेल अशा स्थितीत तापमान एका मोठ्या निवापातील शुद्ध द्रवद् हिमात ठेवतात पारदस्तम्भाचा पृष्ठ स्थिर झाल्यावर या पृष्ठाशी तापमानाच्या नळीवर दुसरी खूण करतात वितळणाऱ्या हिमाचा ताप हा तापमानाचा नीच स्थिर-बिन्दु मानण्याचा प्रघात आहे

तापश्रेणी (scale of temperature)

उच्च आणि नीच स्थिर-बिन्दूमधील तापाच्या अतरालाला (interval) 'मूळ अतराल' (fundamental interval) हे

संज्ञा आहे. शतिक श्रेणीत (centigrade scale) द्रवद् हिमाचा ताप (हिमद्रावांक) ०° आहे असे मानतात. तसेच प्रमाण निपीड (standard pressure) असताना उकळणाऱ्या शुद्ध पाण्याचा बुद्बुदांक १००° श. ने दर्शवितात. म्हणजे शतिक श्रेणीत मूळ अंतरालाचे १००° अंशात विभाजन केलेले असते. नीच आणि उच्च स्थिर बिन्दु यांच्या मर्यादापलीकडे वरील तापश्रेणी योग्य रीतीने वाढवून, ०° श खाली तसेच १००° श पेक्षा जास्त असलेल्या तापाचे तापमानावर अंकन करता येते.

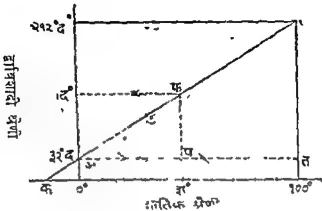
श्रेणी रूपान्तर (conversion of scales)

द्वात्रिंशादि श्रेणीत (Fahrenheit scale) हिमद्रावांकाचा ताप ३२° असून शुद्ध पाण्याचा बुद्बुदांक २१२° वर असतो. या श्रेणीत मूळ अंतरालाचे १८०° अंशात समान विभाजन केलेले असते. मूळ अंतरालात द्वात्रिंशादि श्रेणीचे $(२१२^\circ - ३२^\circ) = १८०^\circ$ आणि शतिक श्रेणीचे $(१००^\circ - ०^\circ) = १००^\circ$ असल्याने,

शतिक श्रेणीवरील $१^\circ = \frac{१८०^\circ}{१००}$ अथवा $\left(\frac{९}{५}\right)^\circ$ द्वात्रिंशादि श्रेणीवरील अंश

एखाद्या वस्तूचे शतिकश्रेणीवरील तापवाचन श° असून द्वात्रिंशादि श्रेणीतील त्या वस्तूचे तापवाचन द° असल्यास श° आणि द° या तापवाचनांचा संबंध पुढीलप्रमाणे असतो.

शतिक श्रेणीतील श° = द्वात्रिंशादि श्रेणीतील $\left(\frac{९}{५}श\right)^\circ$ द्वात्रिंशादि श्रेणीतील नीच स्थिर बिन्दूचे अंकन ३२° असल्याने, वस्तूचा ताप शतिक श्रेणीत श° असल्यास या तापाचे द्वात्रिंशादि श्रेणीतील तापवाचन, $\left(३२ + \frac{९}{५}श\right)^\circ$ इतके असते.



आ. ६–४

$$\therefore \quad द^\circ = ३२^\circ + \frac{९}{५} श^\circ$$

$$\therefore द^\circ - ३२^\circ = \frac{९}{५} श^\circ = \frac{१८०^\circ}{१००^\circ} श^\circ; \quad \therefore \frac{श^\circ}{१००^\circ} = \frac{(द-३२)^\circ}{१८०^\circ}$$

श° आणि द° यांच्या संख्या धन, अथवा ऋण असल्या तरी वरील सूत्र उपयोगी पडते. या सूत्राची व्युत्पत्ति बिन्दुरेख-रीतीनेहि करता येते आकृति ६–४ मध्ये शतिकश्रेणी आणि द्वात्रिंशादि श्रेणी यांचा संबंध कल या रेषेने दाखविला आहे

दोन्ही श्रेणींतील नीच आणि उच्च स्थिर बिन्दु अनुक्रमें अ आणि ख आहेत △ अपफ आणि △ अतख हे समकोन असल्याने,

$$\frac{अत}{तख} = \frac{अप}{पफ}$$

$$\therefore \quad \frac{१००^\circ}{२१२^\circ - ३२^\circ} = \frac{श^\circ}{द^\circ - ३२^\circ}$$

$$\therefore \quad \frac{श^\circ}{१००^\circ} = \frac{(द - ३२)^\circ}{१८०^\circ} \qquad \ldots (स\ ६-१)$$

वस्तूचा वास्तविक ताप (true temperature) आणि तापमानाने त्या वस्तूचा मापलेला ताप यात अल्प भेद संभवतो तापाच्या या अल्पांतराला 'तापमानाचा विभ्रम' ही संज्ञा आहे

तापमानाच्या विभ्रमाची कारणे पुढीलप्रमाणे आहेत

(१) शून्य विभ्रम (*zero error*) — तापमानाच्या स्थिर-बिन्दु निश्चयनात प्रथम उच्च आणि नंतर लगेच नीच स्थिर बिन्दूचे निश्चयन करतात यानंतरच्या दीर्घकालावधीत, तापमानाचा उच्च ताप मापण्याकरिता उपयोग केलेला नसल्यास, या कालावधीत तापमानाची काच हळूहळू संकोचित होते. यामुळे तापमानाच्या कन्दाच्या परिमाणात थोडे संकोचन होते अर्थातच द्रवद् हिमात तापमान ठेवल्यास कन्दाच्या या संकोचित धारितेत पहिल्याइतका पारद मावू शकत नाही आणि हा न मावलेला पारद, कन्दाच्या वरच्या भागातील स्तम्भात शिरतो म्हणून द्रवद् हिमात तापमानाचे वाचन ०°श न राहता ०° श. च्या थोडे वर असते या विभ्रमाला 'दीर्घकालीन शून्य विभ्रम (secular rise of zero) असे म्हणतात

तापमानाचा उपयोग करण्यापूर्वी थोडेच दिवस अगोदर तापमान उच्च ताप मापण्यासाठी उपयोगात आणल्यास, त्याच्या कन्दाची वाढलेली धारिता बराच कालपर्यंत पूर्वस्थितीवर येत नाही

हा बन्द द्रवद् हिमात ठेवल्यावर कन्दाची धारिता पूर्ण संकोचित न झाल्याने स्तम्भातील थोडा जास्त पारद कन्दात मागावला जातो, म्हणून तापमानाचे ह्या वेळेला घेतलेले वाचन ०° श. पेक्षा थोडे न्यून होते. या विभ्रमाला अल्पकालीन 'शून्य विभ्रम' (temporary fall of zero) असे म्हणतात. वर सांगितलेले शून्य विभ्रम अल्प असतात; तथापि संशोधनातील तापमानात परिशुद्धता आवश्यक असल्याने, या विभ्रमाचा तापवाचनावर होणारा परिणाम लक्षात घ्यावा लागतो.

(२) विगोपित पारदस्तम्भ विभ्रम

(exposed stem correction)

शून्य विभ्रम—कोणत्याहि वस्तूचा अथवा साधित्राचा ताप मापताना, तापमानाचा स्तम्भ आणि स्कन्द यातील पारदाचा ताप एकरूप असणे अवश्य असते. कित्येक वेळा पारदस्तम्भाचा सर्व भाग साधित्रात ठेवणे शक्य होत नाही. या विगोपित भागाचा भोवतालच्या वायुमण्डलाशी संबंध आल्याने या भागाचा ताप साधित्रातील तापापेक्षा थोडा न्यून होतो. यामुळे तापमानाचे या विगोपित स्थितीतील तापवाचन वास्तविक तापापेक्षा थोडे अल्प असते. या विभ्रमाला 'विगोपित पारदस्तम्भ विभ्रम' हो संज्ञा आहे. या विभ्रमाच्या शोधनाकरता उपयोगात येणाऱ्या सूत्राची चर्चा प्रकरण ८ मध्ये केलेली आहे.

तापमानांतील विभ्रमांचे शोधन

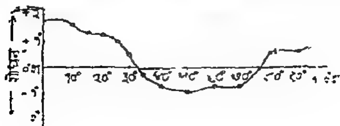
(corrections for errors of thermometers)

तापमानाच्या काचनळीचे छिद्र एकरूप नसल्यास, स्थिर बिन्दूचे तापवाचन परिशुद्ध असूनहि स्थिर बिंदूच्या वाचनाव्यतिरिक्त इतर तापवाचनात विभ्रम उत्पन्न होतो. स्थिर बिन्दु ठरविण्यात काही

विभ्रम असल्यास, तसेच केशालनलिकेचे छिद्र एकरूप नसल्यास तरल तापमानात विभ्रम संभवतात. या विभ्रमाचे शोधन पुढील प्रमाणे करणे सोयीचे असते. तरल तापमान आणि प्रमाप तापमान ही दोन्ही एका योग्य तापनात (hot bath) ठेवतात. त्या तापनाचा ताप हलके हलके वाढवून तरल तापमानाचे घेतलेले वाचन, त्याच क्षणी घेतलेले प्रमाप तापमानाचे सवादी (corresponding) वाचन आणि त्या दोहोंतील भेद खालील प्रमाणे सारणीत लिहितात.

१	२	३
प्रमाप-तापमानाचे वाचन	परीक्ष्य तापमानाचे वाचन	शोधन (१-२)

सारणीतील तिसऱ्या स्तम्भातील शोधन आणि दुसऱ्या स्तम्भातील सवादी वाचन याचा आकृति ६-५ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे शोधन-बिन्दुरेख काढतात. शोधन बिन्दुरेखेवरून असे दिसून येईल की, परीक्ष्यतापमानाचे वाचन ५०° श. असताना वाचनातील शोधन



आ ६-५

−०·१° श. आहे, म्हणून परिशुद्ध तापवाचन ४४·९° श. आहे. यावरून परिशुद्ध तापमानात शोधन बिन्दुरेषेचा उपयोग कसा करतात हे लक्षात येईल.

विशेष प्रकारची तापमाने



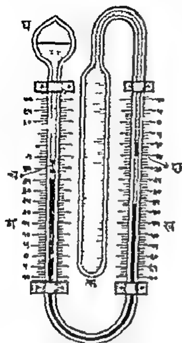
सुषव तापमान (alcohol thermometer)

पारदाचे सान्द्रीभवन − ३९° श. तापावर होते, यामुळें −३५° श पेक्षा न्यून असलेल्या तापवाचनाकरतां सुषव (alcohol) तापमानाचा उपयोग करतात. सुषव तापमान − ११०°श पर्यंत उपयोगात आणता येते. पारदाचा बुद्बुदांक ३५७° श असल्याने साधारणत: ३००° श पेक्षा जास्त ताप मापण्यास, साधें पारदतापमान उपयोगात आणणें इष्ट नाही तथापि पारदतापमानात उच्च निपीडावर भूयाति भरून ४००° श तापापर्यंत तापमापन करता येते

ऋग्णतापमान (clinical thermometer)

ऋग्णतापमान द्वाविंशादि श्रेणीचे असून, त्याचे भवन ९०° द. ते ११०° द पर्यंत असते. या तापमानाच्या कन्द आणि स्तम्भ यामध्ये सङ्कुचित मोड असते (आवृत्ति ६-६ पाहा) आजारी मनुष्याच्या शरीराशी तापमान स्पर्शित असताना कन्दातील पारद तापवर्धनाने प्रसरण पावतो आणि तो या सङ्कुचित मोडीतून स्तम्भात शिरतो हे तापमान शरीरापासून दूर नेल्यास, तापमानाचा ताप घटून, कन्दातील पारदाचे सङ्कोचन होतें.

आ. ६–६



आ ६-७ (अ)

परन्तु मोडीच्या पलीकडील स्तम्भाच्या भागातील पारद सङ्कोचित होताना, मोडींतून खाली न घसरता तेथेच स्थिर राहतो, यामुळे आजारी मनुष्याच्या शरीराचे तापवाचन, तापमान शरीरापासून दूर नेल्यावरहि अचल राहते. म्हणून हे तापवाचन केव्हाहि मागीन घेता येते

भूयिष्ठ आणि अल्पिष्ठ तापमान (maximum and minimum thermometer)

घनवातिकीय (meteorological) परिस्थितीचे पूर्ण ज्ञान होण्याकरता दिवसाच्या १२ तासांतील सावलीतील भूयिष्ठ तापाचे आणि रात्रीच्या १२ तासांतील अल्पिष्ठ तापाचे वाचन घेणे आवश्यक असते आकृति ६-७ अ मध्ये सामान्यप्रकारचे भूयिष्ठ आणि अल्पिष्ठ तापमान दर्शविले आहे ह्या तापमानात सुषवाच्या (alcohol) परिमा-परिवर्तनाने ताप मापन करतात क हा लम्बट कन्द सुषवाने पूर्ण भरलेला असतो उर्ध्वबाहूच्या दुसऱ्या टोकाला असणाऱ्या घ या कन्दात सुषव आणि सुषवाचे बाष्प असते उर्ध्वबाहूच्या खालच्या भागात पारद असतो क कन्दाच्या भोवतालच्या वायूचा ताप

आ ६-७ (आ)

'वाढल्यास, सुषवाची परिमा वाढून ग भुजेंतील पारद खाली जातो आणि ग भुजेंतील पारद वर सरकताना तोच या स्कन्द (spring) लावलेल्या देशनेला (index) वर ढकलतो (आ ६-७ आ पाहा) नळीतील पारद खाली येतो तेव्हा च आणि छ ह्या देशना त्याना लावलेल्या स्कन्दाच्या माहात्म्याने नळीत स्थिर राहू शकतात.

क चा ताप न्यून होत असताना त्यातील सुषवाची परिमा सकोचित होते आणि ख मधील सुषवाचा पृष्ठ क कडे सरकतो या पृष्ठाशी सलग्न असलेला ख मधील पारद पृष्ठ वर सरकतो आणि त्याबरोबर छ ही लोखडी देशनाहि वर सरकते. या स्थितीत ग नळीमधील च देशना स्थिर असते. त्यामुळे वाचन घेण्याच्या पूर्वकाळातील वायुमण्डलाचा भूयिष्ठ ताप च या देशनेने वाचता येतो तसेच छ या देशनेने वायुमण्डलाचा अल्पिष्ठ ताप समजतो हे लक्षात येईल ही वाचने घेतल्यावर लोहचुम्बकाच्या क्रियेने च आणि छ या लोखडी देशनाचे स्थानान्तर करून, त्याना पारदपृष्ठाशी सस्पर्शित आणतात

ताप परिवर्तनामुळे वस्तूच्या इतर गुणधर्मांतहि परिवर्तन होते उदाहरणार्थ वातीचे परिमापरिवर्तन, निपीडपरिवर्तन अथवा विद्युत्वाहकाचे (electrical conductor) रोधपरिवर्तन (change in resistance) इत्यादि

वरील परिवर्तने नियमित असल्याने त्यांच्या मापनाने निर-निराळ्या तापक्षेत्रातील (range) तापाच गणन करता येते

विशेष उच्चताप तसच नीचताप-मापनास वातीच्या प्रसरणाचा अथवा निपीड परिवर्तनाचा उपयोग करणारी तापमाने वापरण्याचा प्रघात आहे कारण वातीच्या तरलनाचा ताप ०°श च्या बराच नीच असतो तसच वातीच्या परिमेचे अथवा निपीडाचे ताप-

वर्धनानें होणारें वर्धन, त्याच स्थितींतील तरलाच्या परिमाणवर्धनापेक्षा बरेंच जास्त असल्यानें वातितापमान बरेंच सूक्ष्म असतें. त्याचप्रमाणें वातिविस्तरणहि जास्त नियमित असल्यानें (प्रकरण ९ वें पाहा) वातितापमानाच्या वाचनांत जास्त परिशुद्धता येते यामुळे वाति-तापमानास प्रमाण तापमान (standard thermometer) मानण्याचा प्रघात आहे

रोधतापमान (resistance thermometer)

महातु आदि धातूच्या विद्युत् वाहकाचा तार वाढल्यास या वाहकाच्या विद्युद्रोधाच्या अहेंत नियमित परिवर्तन होतें. अशा रोध-परिवर्तनाच्या साहाय्यानें सूक्ष्म आणि परिशुद्ध ताप मापन करणें शक्य होतें. अशा रोधतापमानानें--२००° श पासून ६००° श. तापापर्यंत तापमापन करतां येतें.

तापमियुन (thermo-couple)

या तापमानाच्या प्रकारात दोन निरनिराळ्या धातूंच्या संधीचा (junction) ताप न्यूनाधिक झाल्यास, या धातूंच्या परिधींत (circuit) विद्युत्वाह (electric current) उत्पन्न होतो विद्युत्वाहाचें मापन केल्यानें तापमापन करणें शक्य होतें उच्च आणि नीच ताप मापन करण्याकरता तापमियुनाचा उपयोग करतात.

भट्टी (furnace), विद्युच्चाप (electric-arc), सूर्य, तारे इत्यादींच्या तापाचें गणन त्यांच्यापासून विकिरित (radiated) झालेल्या उष्मौर्जेच्या (heat energy) मापनानें करतात अशा प्रकारच्या तापमानास 'अग्निमान' (pyrometer) ही संज्ञा आहे

वरील तापमानाचे जास्त विवेचन पुढील प्रकरणात योग्य स्थळी केलेले आहे अन्वेषणाच्या (research) अनेक क्षेत्रात आणि औद्योगिक व्यवसायात परिस्थिति आणि तापक्षेत्र (range of temperature) इत्यादि विचारात घऊन विशिष्ट तापमानाचा उपयोग करतात

काही वस्तूंचे भिन्न अवस्थातील ताप स्थूलमानाने खाली दिले आहेत

सूर्य आणि तारे यांचा आंतरिक ताप ...	१०,०००,०००° श
सूर्याच्या वायुमण्डलीय बाह्य पृष्ठाचा ताप	६०००° श
अंगार चापाचा (carbon arc) ताप	४०००° श
सुवर्णाचा द्रावांक ..	१०६३° श
गंधकाचा बुद्बुदांक ...	४४५° श
पाण्याचा बुद्बुदांक ..	१००° श
द्रवद् हिमाचा ताप (हिमद्रावांक)	०° श
जारकाच्या तरलाचा बुद्बुदांक	−१८३° श
यानाति तरलाचा बुद्बुदांक ...	−२६०° श

प्रश्न

(१) तापमानाच्या स्थिर बिन्दूंचे निश्चयन करताना कोणत्या गोष्टींची विशेष काळजी घ्यावी लागते ?

प्रथम कोणत्या स्थिर बिन्दूंचे निश्चयन केले जाते ते सकारण सांगा

(२) पारद तापमानात कोणते विभ्रम उद्भवतात आणि त्यांचे शोधन कसे करतात ?

(३) समछिद्र नळी असलेल्या तापमानाचे द्रवद् हिमातील वाचन १५° आहे आणि प्रमाण निपीडाखालील उकळत्या पाण्याच्या वाफेतील ह्या तापमानाचे वाचन २४०° आहे. या तापमानाची दुसरी दोन वाचनें अनुक्रमें १०° आणि ९५° असल्यास ह्या वाचनांचे शतिक श्रेणीवरील संवादी वाचनांत गणन करा [ह्या तापमानाचा मूळ अंतराल (२४०°−१५°) = २२५°]

(४) (अ) अशीतिक श्रेणीवर नीच स्थिरबिन्दु आणि उच्च स्थिरबिन्दु या दोहोंची वाचनें अनुक्रमें ०° आणि ८०° भागावर असतात. एका वस्तूचा अशीतिक श्रेणीवरील (Reaumur scale) ताप आणि शतिक श्रेणीवरील ताप या दोहोंचा संबंध दर्शविणारे सूत्र व्युत्पादित करा

(आ) खालील तापांस अशीतिक श्रेणीवरील तापांत रूपान्तर करा –(१) – ४०° श., (२) ३२° फ. (३) १६° द., (४) २०२° द.

प्रकरण ७ वें

अनुरेख विस्तरण

सामान्यतः वस्तूचा ताप वाढविल्यास त्या वस्तूची परिमाहि वाढते (तापमिती प्रकरण ६ पाहा). सान्द्र वस्तूचा आकार निश्चित असल्यामुळे तापवर्धनाने सान्द्राच्या परिमेत परिवर्तन होताना वस्तूची लांबी, रुंदी आणि उंची यांच्यातहि परिवर्तन होते. सान्द्र वस्तूच्या एका दिशेतील आयामाच्या (लांबीच्या) विस्ताराचे मापन करणें शक्य असते. प्रवाही (तरल आणि वाति) वस्तूंचा आकार निश्चित नसल्यामुळे, तापवर्धनाने होणाऱ्या त्यांच्या परिमा-विस्ताराचेच मापन करतां येते तापवर्धनाने होणाऱ्या आयाम-विस्ताराचा अभ्यास पुढीलप्रमाणे करतात.

(१) एका विशिष्ट द्रव्याच्या, (उदाहरणार्थ—लोखंड, पितळ, तांबे) सळईचा ताप ०°श पासून वाढवून तिच्या लांबीचा होणारा विस्तार योग्य रीतीने मापल्यास असे दिसून येते की, सळईचा ताप ज्या प्रमाणात वाढवावा त्याच प्रमाणात तिच्या लांबीचे विस्तरण होते

विस्तरणाचा हा संबंध पुढीलप्रमाणे दर्शवितात.

विस्तरण $\propto$ ०°श पासून मापलेले तापवर्धन

(२) त्याचप्रमाणें एकाच द्रव्याच्या दा आणि दा' लांबी असलेल्या दोन सळयांचा ताप ०° श. पासून सारखाच वाढविला असता त्या सळयांचे त्यामुळे होणारे विस्तरण अनुक्रमे द आणि द' ने दर्शविल्यास

$$\frac{दा}{दा'} = \frac{द}{द'} ; \therefore \frac{द}{दा} = \frac{द'}{दा'}$$

म्हणजे समताप परिवर्तनाने होणारे विस्तरण हें ०° श तापावरील मूळ लांबीशी अनुपाती असते. यावरून तापवर्धनाने होणारे आयाम-वर्धन, मूळ लांबी आणि ०° श. पासून मापलेलें तापवर्धन, या तीन गणांचा परस्पर संबंध पुढील सूत्राने दर्शविता येतो.

∵ विस्तरण ∝ (तापवर्धन) × (०° श. तापावरील मूळ लांबी)

∴ विस्तरण = अ × (तापवर्धन) × (०° श. तापावरील मूळ लांबी)

किंवा, $अ = \frac{विस्तरण}{मूळ\ लांबी \times तापवर्धन}$ ... ... (स. ७-१)

वरील समीकारांत अ हा स्थिरांक आहे.

सळईची ०° श. वरील मूळ लांबी $दा_०$ असून त° श. तापावर तिची लांबी दा असल्यास,

$$विस्तरण = अ \times दा_० \times (त - ०)$$

परंतु, $विस्तरण = (दा - दा_०)$

म्हणून, $(दा - दा_०) = अ \times दा_० \times त$

अथवा $अ = \frac{(दा - दा_०)}{दा_० \times त}$ ... ... (स. ७-२)

वरील समीकार $अ = \frac{(दा - दा_०)}{(त)} \times \frac{१}{दा_०}$ असा लिहीता येईल.

$\frac{(दा - दा_०)}{त}$ ही राशी ०° श. तापावरील दा० या लांबीचे १° श. तापवर्धनाने होणारे विस्तरण होय. यावरून, अ या स्थिरांकाची पुढील प्रमाणे व्याख्या करता येईल. वस्तूचा ताप १° ने वाढल्यास, वस्तूच्या ०° तापावरील एकक आयामाच्या विस्ताराला, त्या वस्तुद्रव्याचा 'अनुरेखीय विस्तार गुणक' (coefficient of linear expansion) असे म्हणतात. हा अनुरेख विस्तार गुणक अ ने दर्शविण्याचा प्रघात आहे.

समीकार ७–२ खालील प्रमाणे लिहिता येतो.

$$दा = दा_० (१ + अ.त) \quad \dots \dots \dots \quad (स. ७–३)$$

तापवर्धनाने होणाऱ्या लांबीचे गणन करण्यास वरील सूत्र सोयीचे आहे. दा, दा० आणि त याच्या अर्हा योग्य सपरीक्षणाने मापल्यास अ चे गणन करता येते.

सान्द्र वस्तूचा ताप ०° श पेक्षा न्यून झाल्यास वस्तूची लांबी दा० पेक्षा न्यून होते. वस्तूच्या या आयाम-सकोचनावरून अ चे गणन करावयाचे असल्यास समीकार ७–३ चा उपयोग करता येतो. मात्र त ची अर्हा यावेळी ऋण घ्यावी लागते

पुढील सारणीत कांही द्रव्यांचे अनुरेख विस्तार गुणक दिले आहेत.

द्रव्य	अनुरेष विस्तार गुणक.
स्फटधातु (Al)	०·००००२३८
ताम्र (Cu)	०·००००१६
महातु (Pt)	०·०००००८९
रजत (चांदी) (Ag)	०·००००१९७
पितळ (Brass)	०·००००१८९
अचलातु (Invar)	०·००००००९
अनल काच (Jena glass)	०·००००५८
सैकता (Silica)	०·००००००५९
वज्रायस् (पोलाद) (Steel)	०·००००११६
अयस् (लोखंड) (Fe)	०·००००१०२

सामान्यतः सळईची ० श. वरील लांबी मानून घरणें सोयीचें नसून $त_1$ आणि $त_2$ या दोन भिन्न तापावर सळईची लांबी अनुक्रमें $दा_1$ आणि $दा_2$ असल्यास, स ७–३ वरून,

$$दा_1 = दा\,(१ + अ\,त_1)$$

आणि

$$दा_2 = दा\,(१ + अ\,त_2)$$

$$\frac{दा_2}{दा_1} = \frac{१ + अ\,त_2}{१ + अ\,त_1}$$

परंतु,

$$\frac{१}{(१ + अ\,त_1)} = (१ + अ\,त_1)^{-१}$$

द्विपद प्रमेयाप्रमाणें (binomial theorem)

$(१+अ.त_१)^{-१} = १ - अ.त_१ + अ^२.त_१^२ - अ^३.त_१^३$ ... इत्यादि

अ ची अर्हा अल्प असल्यामुळे, (वरील सारणी पाहा) $अ.त_१$ यापेक्षा $(अ^२.त_१^२)$, $(अ^३.त_१^३)$ इत्यादि अर्हा अल्पतर असतात. या अर्हा उपेक्ष्य समजून,

$$\frac{१}{१+अ.त_१} = १ - अ.त_१ + \ldots \quad \ldots$$

$$\therefore दा_२ = दा_१ [\,(१+अ.त_२)\,(१ - अ.त_१ + \ldots)\,]$$

$$= दा_१ [\,(१+अ.त_२ - अ.त_१ - अ^२.त_१.त_२ +)\,]$$

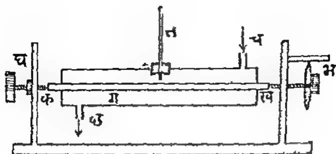
$(अ^२.त_१.त_२)$ या राशीची अर्हा वर दर्शविल्याप्रमाणे अल्पतर असल्याने ती उपेक्ष्य समजून,

$$दा_२ = दा_१ [१+अ\,(त_२-त_१)] \quad \ldots \text{(स. ७–४)}$$

किंवा $$अ = \frac{दा_२ - दा_१}{दा_१\,(त_२-त_१)} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(स. ७–५)}$$

वरील सूत्राच्या उपयोगाने अ चे गणन करता येते. प्रयोगशाळेत अनुरेख विस्तार गुणकाचे निश्चयन पुढील सपरीक्षेने करतात

कस ही परीक्ष्य धातूची सळई म या नळकांड्यात ठेवलेली असते. या नळकांड्या बाहेरील पृष्ठभाग असंवाही (non-conducting) पदार्थाने झाकलेला असतो नळकांड्याच्या दोन टोकांकडील रवणा (cork) मधून सळईची टोके आकृति ७–१ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे किंचित् बाहेर आलेली असतात. सळईचे क टोक घ या



था. ७-१

स्थायी भ्रमीवर टेकलेले असल्यामुळे विस्तरणसमयी ते पलीकडे सरकू शकत नाही. मात्र ख टोक पलीकडे सरकते. भ या अणुमान भ्रमीचे टोक आवश्यकतेनुसार सळईच्या ख टोकाला संस्पर्शित करता येते. त या तापमानाने सळईचा ताप समजतो. च नळीद्वारे पाणी अथवा प्रवाष्प नळकांड्यात शिरते आणि छ नळीवाटे ते बाहेर पडते.

प्रथम भ चे टोक ख पासून दूर करून उकळत्या पाण्याचे बाष्प च, छ मार्गे नळकांड्यातून जाऊ देतात. नळकांड्यातील भागाचा ताप प्रवाष्पाच्या तापाइतका वाढून ताप स्थिर झाल्यावर या तापाचे वाचन त तापमानावर घेता येते. अशा रीतीने काही वेळ प्रवाष्प मुक्तपणे नळकांड्यातून जाऊ दिल्यावर भ भ्रमीचे टोक तप्त सळईच्या ख टोकाशी संस्पर्शित करून भ भ्रमीचे पहिले वाचन घेतात. त्यानंतर प्रवाष्पा ऐवजी कोष्णतापावरील पाणी नळकांड्यातून जाऊ देतात. या स्थितील सळईचे संकोचन होऊन, ख टोक भ्रमीच्या टोकापासून थोडे मागे सरकते. ताप स्थिर झाल्यावर, तापमानाचे वाचन घेतात. भ्रमिटोपी योग्य दिशेने फिरवून, भ टोक ख टोकाशी संस्पर्शित करून भ्रमीचे दुसरे वाचन

घेतात. प्रवाहाच्या तापापासून कोष्ठतापावर येईपर्यंत कच सळईचे झालेले संकोचन (contraction) भ्रमीच्या वरील दोन्ही वाचनांच्या भेदाइतके असते कच सळईची कोष्ठतापावरील लांबी ($दा_१$) मापल्यास,

$$अ = \frac{दा_२ - दा_१}{दा_१ (त_२ - त_१)} = \frac{\text{भ्रमीच्या दोन वाचनांतील भेद}}{\text{कोष्ठतापावरील सळईची लांबी} \times (\text{प्रवाहाचा ताप आणि कोष्ठताप या दोहोंतील भेद})}$$

वरील समीकरणातील उजव्या पक्षातील राशींच्या अर्हा माहीत असल्याने, सळईच्या अ अनुरेख विस्तार गुणकाचे गणन करता येते.

वरील सपरीक्षेत पुढील विभ्रम संभवतात.

(१) सळईची दोन्ही टोके नळवाड्याबाहेर असल्यामुळे, बाहेरील वायूशी त्याचा संबंध येऊन, या दोन टोकांचा ताप नळवाड्यातील सळईच्या तापापेक्षा थोडा न्यून असतो

(२) नळवाडे ज्या स्थानावर बसविलेले असते त्या स्थानाला संवाहन (conduction), विकिरण (radiation) इत्यादींच्या द्वारा तप्त नळवाड्यापासून ऊष्मा मिळतो त्यामुळे हा स्थान थोडा विस्तार पावून, प भ्रमि आणि भ अणुमान भ्रमि यांच्यातील अंतर थोडे जास्त वाढते अर्थात् यामुळे सळईच्या मापलेल्या विस्तरणात थोडी न्यूनता येते

(३) तसेच त तापमापाचा पारदस्तम्भ विगोपित (उघडा) राहिल्यास, प्रकरण ६ त सांगितल्याप्रमाणे तापवाचनात विभ्रम येतो

तन्तू परीक्ष्य शलाकेवरील खुणावर आणतात. यावेळीहि दोन्ही सूक्ष्मदर्शकांचे वाचन घेतात. दुसऱ्या आणि तिसऱ्या वाचनावरून तापवर्धनाने सळईचे झालेले विस्तरण कळते. सरतेशेवटी, पुन्हा एकदा प्रमाप शलाकेची द्रोणी अग्नीक्षाखाली आणून, त्याचे अनुप्रस्थ तन्तू प्रमाप शलाकेच्या खुणावर आणतात. या योगाने अग्नीक्षामधील अंतर स्थिर आहे किंवा नाही हे पडताळून पाहता येते. वरील सपरीक्षेत तापाचे वाचन सहाही तापमापकांनी घेतात.

वस्तूचा ताप वाढल्याने अथवा न्यून झाल्याने वस्तूच्या परिमाणात जे परिवर्तन होते त्या परिवर्तनाला विरोध करण्यास प्रचंड बल लागते. कख ही लोखंडी जाड सळई रक्तोष्ण तापवून, प फ या स्तंभावर आकृति ७–३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे बसविली आहे. सळईच्या क कडील भागातील छिद्रात ग हा लहान लोखंडी गजाचा तुकडा अडकवून, ख टोकाकडील घ हा नट (screw-nut) घट्ट बसविला असतो. प फ स्तंभ पुरेसा दृढ असल्यास, कख चा ताप रक्तोष्ण स्थितीतून न्यून होत असता, कख चे संकोचन होते. या संकोचनाला विरोध करणारा ग लोखंडी गज तुटतो. यावरून, तापपरिवर्तनाने वस्तूत होणाऱ्या परिमाणपरिवर्तनाला वाव न मिळाल्यास, त्या वस्तूशी निगडित असलेल्या इतर वस्तूवर प्रचंड बलाची क्रिया होते असे दिसते. लोहमार्गावरील एकाच रेषेतील लगतच्या दोन वळांमध्ये (rails) थोडे अंतर असते. ऋतुमानाने होणाऱ्या

(आकृति ७-२ आ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे) जवळ जवळ दोन भाग केलेले असतात. यांतील एका भागात परीक्ष्य धातूची शलाका ठेवतात, आणि थ या पंख्यामुळे द्रोणीतील पाणी बाणाच्या दिशेने वाहून राहून या द्रोणीच्या सर्व भागाचा ताप समान असतो.

प्रमाप आणि परीक्ष्य शलाकांच्या दोन्ही टोकांवर सूक्ष्म खुणा केलेल्या असतात. ताप ०° श असताना प्रमाप शलाकेच्या खुणांमधील अंतर १ मान असते. परीक्ष्य शलाकेवरील खुणांमधील अंतरहि जवळ जवळ १ मान असते.

प्रमाप शलाका असलेली प्रथम द्रोणी अण्वीक्षाखाली आणून, त्या शलाकेच्या दोन्ही टोकांवर त्या त्या भागाकडील अण्वीक्षाचे नाभीयन (focussing) करतात. अण्वीक्षातील अनुप्रस्थ तन्तू (cross wires) शलाकेवरील खुणांवर आणून भ्रमीची वाचने घेतात. त्यानंतर प्रमाप शलाकेची द्रोणी एकीकडे सारून, परीक्ष्य शलाका असलेली द्रोणी लोहमार्गावरून अण्वीक्षाखाली आणतात. यावेळी, द्रोणीतील पाणी हिमशीत तापावर असते. ह्याहि शलाकेच्या टोकावरील दोन खुणांमधील अंतर ०°श तापावर जवळ जवळ १ मान असल्याने द्रोणी अण्वीक्षाखाली आणल्यावर, अण्वीक्षातील अनुप्रस्थ तंतू शलाकेच्या खुणांवर आणताना भ्रमीद्वारे अण्वीक्ष किंचित् कडेला सरकवावे लागतात. दोन्ही भ्रमींच्या या वाचनावरून, परीक्ष्य शलाकेवरील खुणांमधील ०°श वरील आयाम आणि १ मान आयाम यांतील भेद समजतो, अर्थात्, परीक्ष्य शलाकेच्या दोन खुणांमधील ०°श तापावरील आयामाचे परिशुद्ध गणन करता येते. त्यानंतर परीक्ष्य शलाका असलेली द्रोणी अण्वीक्षाखालून सरकवून, द्रोणीतील पाण्याचा ताप वाढवतात. उच्च ताप स्थिर झाल्यावर, ही द्रोणी पुन: अण्वीक्षाखाली आणून पूर्वीप्रमाणेच भ्रमि फिरवून अनुप्रस्थ

तन्तू परीक्ष्य शलाकेवरील सुणावर आणतात यावेळीहि दोन्ही भ्रमींची वाचने घेतात. दुसऱ्या आणि तिसऱ्या वाचनावरून तापवर्धनाने सळईचे झालेले विस्तरण कळते. सरतेशेवटी, पुन: एकदा रमाप शलाकेची दोन्ही अण्वीक्षावाली वाळून, त्याचे अनुप्रस्थ तन्तू रमाप शलाकेच्या खुणावर आणतात. या योगाने अण्वीक्षामधील अंतर स्थिर आहे किंवा नाही हें पडताळून पाहता येते. वरील तपरीक्षेत तापाचे वाचन महातूच्या दोन तापमानाने घेतात.

वस्तूचा ताप वाढल्याने अथवा न्यून झाल्याने वस्तूच्या परिमेत जें परिवर्तन होते त्या परिवर्तनाला विरोध करण्यास प्रचंड बल लागतें. क ख ही लोखंडी जाड सळई रक्तोष्ण तापवून, प फ या स्थानावर आकृति ७–२ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे बसविली आहे. सळईच्या क कडील भागातील छिद्रात ग हा लहान लोखंडी गजाचा तुकडा अडकवून, ख टोंकावरील ध हा नट (screw-nut) घट्ट बसविला असतां प फ स्थान पुरेसा दृढ असल्यास, क ख या ताप रक्तोष्ण स्थितीतून न्यून होत असता, क ख चें संकोचन होतें. या संकोचनाला विरोध करणारा ग लोखंडी गज तुटतो. यावरून, तापपरिवर्तनाने वस्तूत होणाऱ्या परिमापरिवर्तनाला वाव न मिळाल्यास, त्या वस्तूंशी निगडित असलेल्या इतर वस्तूंवर प्रचंड बलाची क्रिया होते असे दिसतें. लोहमार्गावरील एकाच रेषेतील लगतच्या दोन वंशामध्ये (rails) थोडें अंतर असतें ऋतुमानाने होणाऱ्या



आ ७–२

तापपरिवर्तनाने वशाच्या लांबीत परिवर्तन होत या परिवर्तनाला वाव मिळावा म्हणून दोन वशामध्ये हे अंतर ठवलेले असत धातूच्या यंत्रातील कोणत्याहि भागाचे वरच ताप-परिवर्तन होण्याचा संभव असल्यास, ह्या भागाच्या प्रसरणाला वाव मिळेल अशी रचना हेतुपुरस्सर करतात

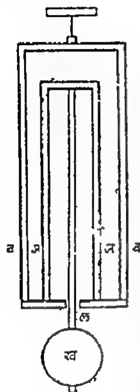
मान्द्राच्या विस्तरणाचा उपयोग

व्यवहारात या तापपरिवर्तनामुळे होणाऱ्या परिमापरिवर्तनाचा उपयोग केलेला आढळतो उदाहरणार्थ चाकाची परिधि आणि त्यावर बसविलेल्या लोखंडी धावेची परिधी समान असतात धाव चाकावर बसविण्यापूर्वी ती तापवून विस्तारित झाल्यानंतर, तप्त स्थितीतच चाकाच्या परिधीवर बसवतात यानंतर, ती धाव थंड होताना संकोचित होऊन तिची चाकावरील पकड दृढ होते

घटियन्त्राची गति निदोलाने नियंत्रित केलेली असत या निदोलाचा आवर्तकाल (का) त्याची लांबी (द) आणि न्याकृष्टि त्वरण (भू) यांचा संबंध पुढील सूत्रात दर्शविला आहे

$$का = २ प्या \sqrt{\frac{द}{भू}} \qquad म ७-६$$

ताप वाढल्याने द ही लांबी वाढत आणि या निदोलाचा आवर्तकाल वाढतो यामुळे घटियंत्र कालदर्शनात मागे पडत तसेच हिवाळ्यातील न्यून तापामुळे द लांबीत संकोचन होऊन आवर्तकाल थोडा अल्प झाल्याने घटियंत्र कालदर्शनात पुढे जात तापपरिवर्तनामुळे घटियंत्रात होणारा हा दोष टाळण्यास, कोणत्याहि ऋतूत घटियंत्रातील निदोलाचा आवर्तकाल स्थिर ठेवणे आवश्यक असत



आ ७-४

अयोझर्झर निदोल
(grid-iron pendulum)

आकृति ७-४ मध्ये दाखविलेल्या अयोझर्झर निदोलात व, व आणि ल या नळ्या लोखंडाच्या असतात, आणि ज, ज या जस्ताच्या (zinc) असतात. ०° श. तापावर व, ज आणि ल या नळ्यांची लांबी अनुक्रमे व_0, ज_0 आणि ल_0 असल्यास,

निदोलाची ०° श. तापावरील लांबी
$\text{द}_0=\text{व}_0-\text{ज}_0+\text{ल}_0$

अयोझर्झराच्या आकृतीवरून हे समजून येईल की, व आणि ल यांच्या विस्तरणाने हा गुण्ड (bob) खाली ढकलला जातो. परंतु ज च्या विस्तरणाने मात्र तो वर उचलला जातो. त तापवर्धनानंतर या निदोलाची लांबी,

$$\text{द}' = (\text{व}_0+\text{ल}_0)\,(१+\text{अ त})-\text{ज}_0\,(१+\text{क त})$$

वरील समीकारात अ हा लोखंडाचा अनुरेख विस्तार गुणक असून, क हा जस्ताचा अनुरेख विस्तार गुणक आहे. तापपरिवर्तनानंतर निदोलाची लांबी अचल ठेवावयाची आहे, म्हणून, $\text{द}_0=\text{द}'$
किंवा,

$$(\text{व}_0-\text{ज}_0+\text{ल}_0)=(\text{व}_0+\text{ल}_0)(१+\text{अ त})-\text{ज}_0(१+\text{क. त})$$

$$\therefore \quad (च_0 + ल_0)\, अ\, त = ज_0\, ब\, त$$

$$\therefore \quad \frac{च_0 + ल_0}{ज_0} = \frac{ब}{अ}$$

$\dfrac{\text{एका धातूच्या सळयाची लांबी}}{\text{दुसऱ्या धातूच्या सळयाची लांबी}}$ ही निष्पत्ति या धातूच्या अनुरेख विस्तार गुणकाच्या निष्पत्तीशी प्रतीपानुपाति असली तर, ऋतुमानाने होणाऱ्या तापपरिवर्तनानंतर निदोलाची लांबी अचल राहते, आणि निदोलाचा आवर्तकाल स्थिर राहतो तापपरिवर्तनानंतरहि ज्या निदोलाची लांबी अचल राहते त्या निदोलास 'समतोलित निदोल' (compensated pendulum) म्हणतात



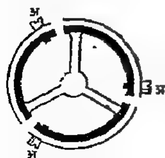
आ ७-५

पारद निदोल
(mercury pendulum)

ग्रॅहॅमच्या पारद निदोलाचे चित्र आकृति ७-५ मध्ये दाखविले आहे क ही एक धातूची समान (uniform) शलाका असून, तिच्या खालच्या टोकास त्याच धातूचे ख हे रभाकार पात्र बसविलेले आहे रभ पात्रात काही विशिष्ट परिमेचा पारद ठेवतात शलाका आणि रभपात्राच्या भाराच्या तुलनेत पारदाचा भार बराच जास्त असल्यामुळे, स्थूलमानाने निदोलाची लांबी प या निलम्बन बिंदूपासून (point of suspension) पारदाच्या भ या म्हाकृष्ट–केंद्रापर्यंत आहे असे म्हणता येईल पात्रातील पारदाची उंची छ

असल्याम, पाऱ्याच्या मध्यापासून अ या स्पर्शबिंदूपर्यंतची उंची $\frac{ह}{२}$ असते. तापवर्धनामुळे, पाऱ्याची पातळी वाढून अ बिंदु जितका वर सरकेल तितकाच नळाचा आणि पात्र यांच्या विस्तरणाने तो खाली आल्यास, निदोलकाची लांबी अचल राहून निदोलकाचा आवर्तकाल सर्व ऋतूंत स्थिर राहील.

लहान घटीयंत्रात वापरण्याचा कुंतल स्कन्द (hair spring) आणि तुला-चक्र (balance wheel) यांच्या योग्य जुळणीने तुला-चक्राला परिभ्रमण गति (rotational motion) मिळते. या चक्राच्या परिधीचे तीन भाग असतात (आकृति ७-६ पाहा) प्रत्येक भाग दोन भिन्न धातूंच्या पातळ पट्टींचा असून, बाहेरील पट्टी ही जास्त विस्तार्य (expansible) धातूची असते. आतील पट्टी न्यून विस्तार्य धातूची असते. तापवर्धनाने बाहेरील भागाचे जास्त विस्तरण झाल्याने, ही पट्टी जास्त वाकते आणि परिधीवरील अ हे धातुपुंज अक्षाच्या थोडे जवळ येतात. तसेच तापपरिवर्तनाने स्कन्दाच्या प्रत्यास्थतेतहि परिवर्तन होते. या घटनांचे योग्य रीतीने समतोलन केल्याने तुला-चक्राचा



आवर्त काल भिन्न ऋतूंतहि स्थिर राहतो अशा प्रकारची रचना जुन्या घडयाळांकरता उपयोगात आणीत असत. आधुनिक घडयाळातील स्कन्द स्थिर प्रत्यास्थता असलेल्या एलीनव्हार (elinvar) मिश्रधातूचा केलेला असतो

मापपट्टीचें विस्तरण (expansion of the scale)

परिशुद्ध मापनांत उपयोगांत आणावयाच्या मापपट्टीवरील भाग आणि प्रभाग यांचे अंकन ०°श. तापावर केलेले असतें. मापपट्टीचा ताप त°श. नें वाढल्यास या दोन भागामधील वास्तविक अंतर विस्तरणानें (१+अ त) इतकें होईल. (अ हा मापपट्टीच्या धातूच्या अनुरेख विस्तार गुणक आहे). या पट्टीच्या साहाय्यानें आयाम मापन करतांना, पट्टीवरील प्रत्यक्ष वाचन १ शि. मा. असल्यास, मापलेला वास्तविक आयाम (१+अ. त) शि. मा. इतका राहील, अर्थात्, या मापपट्टीनें मापलेल्या आयामाचें प्रत्यक्ष वाचन द असल्यास, वास्तविक आयाम,

द' = द (१ + अ त) इतका असेल

अशा रीतीनें मापपट्टीच्या प्रत्यक्ष वाचनावरून वास्तविक आयामाचें गणन करता येतें.

३६ % रूपक (nickel) आणि ६४ % वज्रायस् (steel) मिळून झालेल्या अचलातु (invar) या मिश्रातूचा (alloy) अनुरेख विस्तारगुणक अत्यल्प असल्यानें निरोल आणि मापश्रेणी याच मिश्रातूच्या करतात

महातु आणि कांच यांचे अनुरेख विस्तार गुणक समान असल्यामुळे महातूची तार द्रवित् कांचेत बसविल्यास कांच थंड होतांना ती न तडकतां महातूची तार कांचेंत घट्ट बसते परंतु, लोखडासारख्या धातूचा विस्तार गुणक कांचेच्या विस्तार गुणकापेक्षा भिन्न असल्यानें द्रवद् कांचेत लोखंडी तार बसविल्यास थंड होतांना कांच तडकते.

जाड तळ असलेल्या भांड्यात उष्ण पाणी किंवा हिम टाकल्यास बहुधा पात्रांच्या तळाला तडा जातो. कारण काच कुसंवाही (bad conductor) असल्याने, जाड तळाच्या एका अंगाकडील भागाचा ताप दुसऱ्या भागाच्या तापापेक्षा बराच भिन्न असू शकतो अशा स्थितीत या दोन भागांचे भिन्न विस्तरण होऊन काच तडकते

द्रवित मंडजेचा (fused silica) विस्तारगुणक अल्प असल्यामुळे, शीघ्र तापपरिवर्तनाने द्रवित् मंडजेचे पात्र फुटण्याचा संभव नसतो

प्रश्न

(१) साध्या घड्याळात ऋतुपरत्वे कसा विभ्रम येतो ते स्पष्ट करा

(२) एखाद्या समतुलित हिंदोलाचे वर्णन करा

(३) १०° श वर धातूची सळई मापल्यास तिची लांबी ९९.९८२ शि. मा असल्याचे आढळले. ४०° श वर तिची लांबी १००.०१२ शि. मा असल्यास, त्या धातूचा रेखीय विस्तार गुणक किती असेल ? किती तापावर त्या सळईची लांबी १ मान होईल ?

(४) ०° श तापावर अंकन केलेल्या माप श्रेणीचा अनुरेख विस्तार गुणक ०.००००१२२ आहे या मापपट्टीचा ताप ५०° श असताना तिच्या साहाय्याने केलेल्या मापनात प्रतिशत विभ्रम किती होईल ?

(५) आयामाचे एकक (क) एक प्रापुल आणि (ख) एक शि मा योजून या दोन एककात घेतलेल्या मापनावरून विस्तरण गुणकाच्या गणन केलेल्या अर्घांत भिन्न असतील काय ? तापाचेच एकक (ग) १° शतिमान आणि (घ) १° द्वात्रिंशादि योजल्यास विस्तरण गुणकाच्या अर्घांचा काय संबंध असावा ?

प्रकरण ८

घन विस्तरण

वस्तूचा पुंज स्थिर असल्यास, विशिष्ट तापावर त्या वस्तूची परिमा अचल असते मात्र, वस्तूचा ताप वाढल्याने तिच्या परिमेचे विस्तरण होते. हा परिमाविस्ताराच्या अभ्यासात असे दिसून आले आहे की,

(१) परिमा विस्तार हा त्या वस्तूच्या ०° श तापावरील मूळ परिमेशी अनुपाति असतो

(२) तसेच, परिमा विस्तार ०° श तापापासून गणन केलेल्या तापवर्धनाशी अनुपाति असतो

वस्तूची ०° श तापावरील परिमा $पा_{०}$ असून त° श ताप-वर्धनानंतर त्या वस्तूची परिमा पा ने दर्शविल्यास

$$(\text{परिमाविस्तार}) \propto पा_{०} \times (त-०)$$

$$(पा-पा_{०}) \propto पा_{०} \quad (त-०)$$

अथवा $$(पा-पा_{०}) = व \times पा_{०} \times त$$

यात व हा स्थिरांक आहे

$$व = \frac{पा-पा_{०}}{पा_{०}\,त} \qquad (स\ ८-१)$$

व ची अहा वस्तूच्या द्रव्यावर अवलंबून असते समीकार ८-१

घन व घी म्हणून पुढीलप्रमाणे मांडता येईल. १° तापमानवाढी-मुळे वस्तूचे होणारे घनप्रसरण आणि त्या वस्तूचे ०° तापमानाला मूळ घनफळ यांच्या गुणोत्तरास 'घन विस्तार गुणक' (coefficient of cubical expansion) असे म्हणतात.

वस्तूचे तापमान ०° से. पेक्षा कमी केल्यास वस्तूच्या घनफळात संकोचन होते. अशा स्थितीत त चे अर्थात ऋण समजून समीकरण ८-१ च्या साहाय्याने घन विस्तार गुणकाचे गणन करता येईल.

समीकरण ८-१ पुढील प्रमाणे लिहिण्यासारखे आहे.

$$घ = घ_{०} (१ + ग \times त) \ldots\ldots \qquad (स\ ८\text{-}२)$$

साधारणपणे, घन वस्तूचे सर्व दिशांनी सारखेच विस्तरण होत असल्यास, त्या वस्तूचा अनुरेष विस्तार गुणक आणि घन विस्तार गुणक यांचा संबंध पुढीलप्रमाणे दर्शविता येतो.

०° स. तापमान असताना $घ_{०}$ घनफळ असलेल्या आयताकार ठोकळ्याची लांबी, रुंदी आणि उंची अनुक्रमे $क_{१}$, $क_{२}$ आणि $क_{३}$ ने दर्शविल्यास,

$$घ_{०} = क_{१} \times क_{२} \times क_{३} \ldots \qquad (१)$$

त° स. तापमान असताना त्याच वस्तूचे घनफळ घ असून, तिची लांबी, रुंदी आणि उंची अनुक्रमे $ख_{१}$, $ख_{२}$ आणि $ख_{३}$ यांनी दर्शविल्यास,

$$घ = ख_{१} \times ख_{२} \times ख_{३} \ldots \qquad (२)$$

वस्तूचा अ अनुरेष विस्तार गुणक सर्व दिशांनी सारखाच असल्यास,

भिन्न असतो. अशा वस्तूंचे परस्पराशी लंब असलेल्या तीन दिशातील अनुरेख विस्तार गुणक $अ_1$, $अ_2$ आणि $अ_3$ यांनी दर्शविल्यास,

$$ल_1 = क_1 (१ + अ_1 . त)$$

$$ल_2 = क_2 (१ + अ_2 . त)$$

आणि $$ल_3 = क_3 (१ + अ_3 . त)$$

या समीकारांनी त्या वस्तूचे वर्धित आयाम दर्शविता येतात. ०° से. ताप असताना $पा_0$ परिमा असलेल्या या वस्तूची त° से. तापवर्धनानंतर पा परिमा झाल्यास,

$$पा = ल_1 . ल_2 \; ल_3$$

$$पा = क_1 . क_2 \; क_3 \; (१ + अ_1 \; त) \; (१ + अ_2 . त) \; (१ + अ_3 . त)$$

परंतु $$पा = पा_0 \; (१ + व \; त)$$

आणि, $$क_1 \; क_2 \; क_3 = पा_0 \text{ असल्याने}$$

$$पा_0 (१ + व \; त) = पा_0 \; (१ + अ_1 \; त) \; (१ + अ_2 . त) \; (१ + अ_3 \; त)$$

$$= पा_0 \; [\; १ + (अ_1 + अ_2 + अ_3) \; त + अ_1 . अ_2 . त^2 \text{ इत्यादि}] \; \ldots$$

अल्पराशी उपेक्षून,

$$\therefore \; १ + व \; त = १ + (अ_1 + अ_2 + अ_3) \; त +$$

$$\therefore \; व = अ_1 + अ_2 + अ_3 \ldots\ldots \qquad \ldots \text{ स. ८–४}$$

समीकार ८–३ आणि ८–४ यावरून सान्द्र वस्तूच्या परिमा विस्तार गुणकाची अहीं परस्पराशी लम्ब असलेल्या, तीन दिशातील

अनुरेख विस्तार गुणकाच्या योगा (sum) इतकी आहे असे म्हणता येते.

परिमा विस्तार गुणक दर्शविणाऱ्या पदसहतीत (समीकार ८-१ मधील उजवा पक्ष पाहा). परिमाची निष्पत्ति असल्याने परिमेच्या एककावर विस्तार गुणकाची अर्हा अवलंबून नसते तथापि, या गुणकाची अर्हा तापश्रेणीवर अवलंबून असते. सामान्यत विस्तार गुणकाच्या गणनाल शतिक तापश्रेणीचा उपयोग केलेला असतो

पात्राचें विस्तरण

द्रव आणि वाति वस्तूंचे परिमा मापन त्या वस्तू ज्या पात्रात ठेवलेल्या असतील त्या पात्राच्या धारितेच्या साहाय्यानेच करता येते. तापपरिवर्तनाने पात्राच्या भिंतीच्या (walls of the vessel) लांबी, रुंदी, उंचीत परिवर्तन होऊन पात्राच्या धारितेचेहि परिवर्तन होतें हे परिवर्तन माहीत असल्यास पात्रातील प्रवाही वस्तूच्या परिमेचें परिशुद्ध गणन करता येते सोयीच्या दृष्टीने लांबी रुंदी आणि उंची समान असलेल्या पात्राच्या धारितेचा विचार करू. ०° श ताप असताना या पात्राची धारिता $पा_०$ आणि समान लांबी, रुंदी आणि उंची ही प्रत्येकी $क_०$ने दर्शविल्यास

$$धारिता = पा_० = क_०^3$$

त° श. तापावर या पात्राच्या प्रत्येक भिंतीची लांबी, रुंदी आणि उंची प्रत्येकी क झाल्यास

$$क = क_० (१ + अ त)$$

पात्र ज्या द्रव्याचे केलेले असेल त्या द्रव्याचा अनुरेख विस्तार गुणक अ ने दर्शविला आहे.

त° श. ताप असताना, पात्राची परिमा पा असल्यास

$$पा = य^{३} = य_{०}^{३} (१ + अ. त)^{३}$$

$$= पा_{०} (१ + अ\ त)^{३}$$

$$= पा_{०} (१ + व\ त)$$

०° शताच्या तापावर घन वस्तूची परिमा $पा_{०}$ असल्यास या घन वस्तूची त° श. तापावर परिमा $पा_{०} (१ + व. त)$ असते, आणि वरील समीकारावरून असे दिसते की पात्राच्या धारितावर्धनाचें गणन त्याच वस्तुद्रव्याच्या समान परिमा असलेल्या सान्द्राच्या घन विस्तारणाच्या गणनाप्रमाणें करता येईल. म्हणजे पात्र आणि सांद्र हें एकाच वस्तुद्रव्याचे असल्यास तापवर्धनाने पात्राच्या धारितेंत होणारा विस्तार तितक्याच परिमेच्या सान्द्राच्या परिमाविस्ताराइतका असतो

तापाचा घनतेवर होणारा परिणाम

तापपरिवर्तनाने वस्तूच्या परिमेंत परिवर्तन झाल्यामुळे तिच्या घनतेतहि परिवर्तन होतें ०° श. आणि त° श. या तापावरील वस्तूच्या परिमा अनुक्रमे $पा_{०}$ आणि पा असून तिची घनता अनुक्रमे $घ_{०}$ आणि घ असल्यास,

$$वस्तूचा\ पुंज = पा_{०}. घ_{०} = पा\ घ$$

परंतु, समीकार ८–२ वरून,

$$पा = पा_{०} (१ + व\ त)$$

$$\therefore \quad पा_{०}\ घ_{०} = पा_{०} (१ + व. त)\ घ$$

किंवा, $घ_० = घ (१ + व त)$ .. स ८–४

$$घ = \frac{घ_०}{(१ + व त)}$$

अथवा $\frac{घ}{घ_०} = \frac{१}{(१ + व त)}$ ... स ८–५

$०°$श वरील आणि $त°$श तापावरील तरलाच्या घनतेच्या निष्पत्तीवरुन तरलाच्या परिमा विस्तार गुणकाचे निश्चयन वरील सूत्राच्या साहाय्याने करता येते हे लक्षात येईल.

घन विस्तार गुणकाचें निश्चयन

घन विस्तार गुणकाच्या निश्चयनाकरता वस्तूच्या $०°$ श. तापावरील परिमेचे मापन करणें नेहमीच सुलभ नसते $त_१°$श आणि $त_२°$श तापावर एका वस्तूच्या परिमा अनुक्रमे $पा_१$ आणि $पा_२$ ने दर्शविल्यास,

$$पा_१ = पा_० (१+व त_१)$$

$$पा_२ = पा_० (१+व त_२)$$

यावरुन, $\frac{पा_२}{पा_१} = \frac{(१+व. त_२)}{(१+व त_१)} = (१+व त_२) (१+व त_१)^{-१}$

$$= (१+व त_२) (१-व त_१+व^२ त_१^२) \; ....$$

सान्द्र आणि तरल वस्तूचे घन विस्तार गुणक अल्प असल्याने, $(व^२ त_१^२)$, $(व^२. त_१ त_२)$ ...इत्यादि अल्पतर संख्या उपेक्षून,

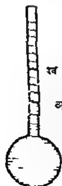
$$\frac{\text{पा}_2}{\text{पा}_1} = [\,1 + \text{घ}\,(\text{त}_2 - \text{त}_1)\,] \quad \text{.......... म. ८–६}$$

$$\therefore \quad \text{घ} = \frac{\text{पा}_2 - \text{पा}_1}{\text{पा}_1\,(\text{त}_2 - \text{त}_1)} \quad \text{............ म. ८–७}$$

यावरून, सान्द्र आणि तरल वस्तूंच्या दोन भिन्न तापावरील परिमा मापनाने त्या वस्तूच्या घन विस्तार गुणकाचे गणन करिता येते.

सत्य आणि प्रत्यक्ष विस्तरण
(true and apparent expansion)

तरलाचें तापवर्धनाने होणारे विस्तरण मापण्याकरता, प्रथम घेतलेल्या पात्रात तरल ठेवावे लागते. आकृति ८–१ मध्ये दाखविलेल्या पात्रात ०° श ताप असलेले तरल अ खुणेपर्यंत भरलेले आहे अशी कल्पना करू. पात्राच्या धारिनेचे अ खुणेवरील वाचन पा_0 असल्यास, पात्रातील तरलाची ०° श. तापावरील परिमा पा_0 होईल. पात्राचा ताप त° श असताना, पात्रातील तरलाचे विस्तरण होऊन तरलाचा पट्ट अ पासून ख पर्यंत वर आला असे समजू. ख खुणेवरील वाचन पा' असल्यास, त° श तापावरील तरलाची परिमा पा' होईल. पात्राच्या धारिनेचे विस्तरण लक्षात न घेतल्यास, पा_0 परिमा असलेल्या तरलाचे त तापवर्धनाने होणारे पात्रातील प्रत्यक्ष विस्तरण $(\text{पा}' - \text{पा}_0)$ इतके होईल.



आ ८–१

यावरून $\quad \text{पा}' = \text{पा}_0\,(1 + \text{व}_{\text{प्र}}\,\text{त}) \quad \dots \quad (१)$

$$\therefore \quad व_{प्र} = \frac{पा' - पा_{०}}{पा_{०}\ त}$$

व $_{प्र}$ या राशीला तरल्याचा प्रत्यक्ष विस्तार गुणक म्हणतात

पात्राच्या धारितेच अंकन ०° च्या तापावर केले असल्याने त° च्या ताप असताना त पर्यंतची पात्राची वास्तविक धारिता पा' नसून ती धारिता पा' (१+क त) इतकी असते.* म्हणून पात्रातील तरलाची त° च्या तापावरील वास्तविक परिमा पा [(१+क त)] हे लक्षात येईल या पदसहतीत क हा पात्राच्या द्रव्याचा घन विस्तार गुणक आहे ०° च्या तापावर पा$_{०}$ मूळ परिमा असलेल्या तरलाचे, तापवर्धनाने होणारे वास्तविक परिमावर्धन [पा (१+क त)−पा$_{०}$] हे आहे म्हणून, विस्तार गुणकाच्या व्याख्येनुसार तरलाचा सत्यविस्तार गुणक व $_{स}$ असल्यास,

$$व_{स} = \frac{[पा_{०}\ (१+क.त) - पा_{०}]}{पा_{०}\ त}$$

$$\therefore \quad पा\ (१+क\ त) = पा_{०}\ (१+व_{स}\ त) \qquad (२)$$

समीकार (२) ला समीकार (१) ने भागून,

$$(१+क.त) = \frac{१+व_{स}\ त}{१+व_{प्र}\ त}$$

अथवा $$(१+व_{स}\ त) = (१+क\ त)\ (१+व_{प्र}\ त)$$

$$= १ + व_{प्र}\ त + क\ त + व_{प्र}\ क.त^{२}$$

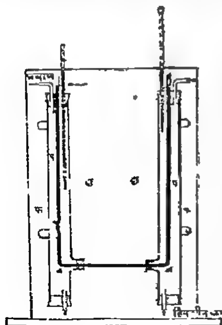
* पात्राच्या धारितेचे विस्तरण (पृ २०० पाहा)

व.व$_{प्र}$ त^{२} ही अल्पतर अर्हा उपेक्षून,

$$(१ + व_{स} त) = [१ + त (व_{प्र} + व)]$$

$$\therefore \quad व_{स} = व_{प्र} + व \quad \ldots \ldots \quad (स\ ८\text{-}८)$$

तरलाच्या प्रत्यक्ष विस्तार गुणकाची अर्हा आणि पात्राच्या द्रव्याच्या घन विस्तार गुणकाची अर्हा यांच्या मिळवणी इतकी तरलाच्या सत्य विस्तार गुणकाची अर्हा असते वरील निष्कर्ष पात्राचा आकार, अथवा त्याची परिमा यावर अवलंबून नाही हे लक्षात येईल,



आ ८-२

सत्य विस्तार गुणकाचे निरयपन पुढील प्रमाणे करतात आकृति ८-२ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे उर्ध्वबाहू नळीचे प आणि प' हे उर्ध्वबाहू अनुक्रमे फ आणि फ' या दोन काचेच्या मोठ्या नळकांड्यात बसविलेले असतात या उर्ध्वबाहु-नळीत परिक्ष्य तरल भरलेले असून (प्रयोगशाळेत या सदराकरता पारद वापरतात) फ' आणि फ या नळकांड्यातून अनुक्रमे हिमशीतजल आणि प्रवाप प्रवाहित ठेवतात यामुळे प'

आणि प यामधील तरलाचा ताप अनुक्रमे ०° श. आणि त°श. असतो. (हा ताप प्रयोगशाळेच्या तापाइतका असतो). दोन्ही बाहूंकडील तापमानाची वाचनें स्थिर झाल्यावर, उर्ध्वबाहूंच्या वं आणि व'या क्षैतिज नळीपासून शीत आणि तप्त तरल–स्तम्भाची अनुक्रमे छ₀ आणि छ ही उंची उत्सेधमानाच्या (cathetometer) साहाय्याने मापतात. शीत आणि तप्त बाहूंतील तरलाची घनता अनुक्रमे घ₀ आणि घ आहे असे समजू. वव' समतलावरील छ₀ आणि छ या तरलस्तम्भाचें निपीड समान असतें म्हणून,

$$छ_0 \cdot घ_0 \cdot गु = छ \; घ \; गु$$

$$\therefore \quad \frac{घ_0}{घ} = \frac{छ}{छ_0}$$

परन्तु, $\frac{घ_0}{घ} = (१ + व_स त)$ ... [समीकार ८–५ अनुसार]

$$\therefore \quad (१ + व_स त) = \frac{छ}{छ_0}$$

$$\therefore \quad व_स त = \frac{छ}{छ_0} - १$$

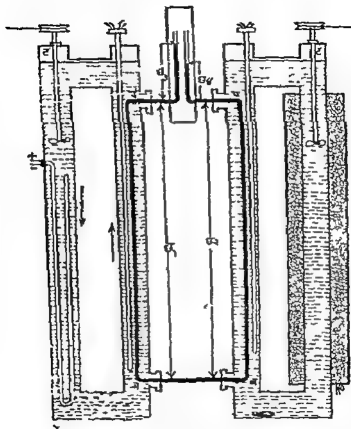
$$\therefore \quad व_स = \frac{छ - छ_0}{छ_0 \; त}$$

छ आणि छ₀ या तरल–स्तम्भांच्या उंचीची वाचनें उत्सेधमानाने घेतलेली असल्याने, या साधनाच्या कोणत्याहि भागाच्या विस्तरणाचा परिणाम या स्तम्भमापनात लक्षात घ्यावा लागत नाही. या रीती

१८१६ मध्ये डुलांग आणि पेटीट् या शास्त्रज्ञांनी पारदाच्या सत्य विस्तार गुणकाचें निश्चयन केलें.

वरील साधित्राच्या उपयोगात, प आणि प' नळकांड्या-बाहेरील उर्ध्वांगांच्या विशेषित भागाचा ताप नळकांड्यांतील भागाच्या तापापेक्षा किंचित् भिन्न असल्यामुळे प्रत्येक तरल-स्तम्भाचा ताप एकरूप नसतो म्हणून ह्या रीतीने निश्चित केलेली $व_स$ ची अर्हा विशेष परिशुद्ध नसते. तसेंच, या साधित्रातील प नळकांड्यांचें तापन प्रवाप्याने होत असल्याने, केवळ प्रवाप्याच्याच तापावर $व_स$ चें निश्चयन करता येतें. $व_स$ चें निरनिराळ्या तापावर निश्चयन करावयाचे असल्यास, प नळकांड्याचा इष्टताप स्थिर ठेवण्याकरितां प्रवाप्याव्यतिरिक्त दुसऱ्या एखाद्या रीतीचा अवलंब करणें आवश्यक आहे. या दृष्टीने कॅलेंडर या शास्त्रज्ञाने योजलेले साधित्र बरेच निर्दोष आहे

आकृति ८–३ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे प व हा पारदस्तम्भ हिमशीत जलतापनांत असल्याने त्याचा ताप ०° श वर स्थिर असतो. प' व' हा पारदस्तम्भ तेल असलेल्या तापस्थापात (thermostat) ठेवतात. या तापस्थापाचा ताप विद्युत्वाहाने नियंत्रित करता येत असल्यामुळे, प'व' या पारदस्तम्भाचा ताप बऱ्याच मर्यादेपर्यंत परिवर्तित करता येतो आणि अनेक भिन्न तापावर पारदाच्या सत्य विस्तार गुणकाचें निश्चयन करणें शक्य होते ट आणि ट' या पंख्यानी तापनाचा ताप एकरूप ठेवता येतो. निरनिराळ्या पारदस्तम्भाची उंची उन्मेषमानानें मापतात पारदस्तम्भाशी स्पर्शित असलेल्या वेगवेगळ्या महान्–रोध-तापमानानें त्या स्तम्भाचा ताप परिशुद्धतेनें मापतात. ताप स्थिर असताना, स्तम्भातील पारदाचा ताप एकरूप असतो. हिमशीत-



आ ८–३

जलाच्या साहाय्याने $छ_2$, $छ_3$ आणि $छ_4$ या पारदस्तम्भाचा ताप ०° श ठेवतात $छ_1$ या पारदस्तम्भाचा ताप त° श ने दर्शविला असून त्यातील पारदाची घनता घ आहे ब ब क्षैतिज नळीच्या दोन टोकावरील निपीड समान असल्यामुळे,

$$छ_२ . घ_० मू + छ_४ \; घ_० \; मू = छ_१ . घ . मू + छ_३ \; घ_० . मू$$

$$(छ_२ + छ_४ - छ_३) घ_० = छ_१ . घ$$

$$\therefore \quad \frac{छ_१}{छ_२ + छ_४ - छ_३} = \frac{घ_०}{घ}$$

परंतु समीकरण ८-५ प्रमाणे

$$\frac{घ_०}{घ} = (१ + व_म \; न)$$

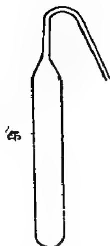
$$\frac{छ_१}{छ_२ + छ_४ - छ_३} = १ + व_म न$$

$$व_म = \frac{छ_१ - (छ_२ + छ_४ - छ_३)}{(छ_२ + छ_४ - छ_३) न}$$

०°श पासून १००°श. तापापर्यंत पारद्याचा सत्य विस्तार-गुणक ०°०००१८२ इतका असतो. या पुढील तापमर्यादेत पारद्याच्या सत्य विस्तार गुणकाची अंकीं यापेक्षा थोडी जास्त असते असे आढळून आले आहे.

भार-तापमान (weight thermometer)

भार-तापमानाच्या व काचेच नळीचे खालचे टोक बंद असतें (आकृति ८ – ४ पाहा). नळीचा वरचा भाग ज्योतीत तापवून काच प्रवाही स्थितीत असताच, योग्य रीतीने ओढून हा भाग वक्र केशाकनलिकाकार केलेला असतो प्रथम व नळीचा पुंज तुरीने निश्चित करतात नळीत तरल भरण्याकरिता ती पात्रांत



आ ८-४

थोडी तापवून, लगेच तिच्या केशालनलिकेचे तोंड पात्रातील तरलात बुडवितात. नळी निवून कोष्ठतापावर येताना तिच्यातील वायूचे सकोचन होऊन या वायूच निपीड न्यून होत. यामुळे, पात्रातील तरलावरील वायुमण्डलीय निपीडाने काही तरल नळीत सारले जात नळी पुन थोडी तापवून केशालनलिकेच तोंड तरलात बुडविल्यास, नळी कोष्ठतापावर येताना तीत थोडें जास्त तरल शिरते अशा रीतीने नळी आळीपाळीने तापवून आणि निववून तरलाने पूर्णपणे भरतात यानतर, नळीतील तरलाचा ताप ($त_1$) कोष्ठतापावर स्थिर होईपर्यंत, केशालनलिकेचे तोंड पात्रातील तरलात बुडवून ठेवतात (अवश्य तर द्रवद् हिमाच्या साहाय्याने नळीतील तरलाचा ताप ०°श अरहि स्थिर ठेवता येतो) नतर तरलाने पूर्णपणे भरलेली ही नळी बाहेरून कोरडी करून तिचा ($पु_1$) पुज तुलेने निश्चित करतात यानतर, भारतापमानाची नळी योग्य उष्ण जलतापनात (hot-water bath) ठेवून तापनाचा ताप वाढवितात या स्थितीत नळीतील तरलाच्या परिमेच विस्तरण होऊन काही तरल नळीतून बाहेर पडतें तापनाचा उच्च ताप ($त_2$) स्थिर झाल्यावर, नळी बाहेर काढून घेतात [प्रयोगशाळेंत नळीच्या केशालनलिकेचे तोंड पाण्याच्या वर राहील अशा बेताने नळी उत्कळत्या पाण्यात ठेवतात] नळीचा ताप कोष्ठतापाइतका झाल्यावर तिच्यातील उरलेल्या तरलामकट तिच्या पुजाच ($पु_2$) तुलेने मापन करतात

घोट्नापावर तरलाची घनता घ असून क नळीची धारिता पा असल्यास,

$पा = \frac{पु_1 - पु}{घ}$ कारण $(पु_1 - पु)$ पुंज असलेल्या तरलाने नळी घोट्नापावर पूर्णपणे भरलेली होती. तापवर्धनाने नळीच्या धारितेतील होणारी वाढ लक्षात न घेतल्यास, नळीत उरलेल्या $(पु_2 - पु)$ पुंज असलेल्या तरलाची $त_2$ उच्च तापावरील परिमा पा हीच समजावी लागेल. या उरलेल्या तरलाची $त_1$ घोट्नापावरील परिमा पा' ने दर्शविल्यास,

$$पा' = \frac{पु_2 - पु}{घ}$$

यावरुन, $(पु_2 - पु)$ पुंज असलेल्या नळीत उरलेल्या तरलाची पा' परिमा $त_1$ तापावर असून $त_2$ तापावर त्याच तरलाची प्रत्यक्ष परिमा पा होते. म्हणून, समीकार ८ – ६ अनुसार,

$$पा = पा' [1 + व_{प्र} (त_2 - त_1)] \text{*} ..$$

वरील समीकारात नळीच्या धारितेतील वाढ लक्षात न

---

* नळीची (पा) धारिता तापवर्धनाने $पा [1 + क (त_2 - त_1)]$ इतकी होते आणि नळीत उरलेल्या तरलाची $त_2$ या उच्चतापावरील वास्तविक परिमासुद्धा हीच आहे, हे लक्षात घेतल्यास वरील समीकार पुढीलप्रमाणे परिशुद्धतेने लिहिता येईल

$$पा [1 + क (त_2 - त_1)] = पा' [1 + व_{स} (त_2 - त_1)]$$

घेतल्याने $\text{व}_{\text{प्र}}$ हा नळीतील तरलाचा प्रत्यक्ष विस्तार-गुणक आहे पा आणि पा' याच्या, पुंज आणि घनता रूपात वर निर्दिष्ट केलेल्या अर्थी आदिष्ट केल्यास,

$$\frac{\text{पु}_१ - \text{पु}}{\text{घ}} = \frac{\text{पु}_२ - \text{पु}}{\text{घ}} [१ + \text{व}_{\text{प्र}} . (\text{त}_२ - \text{त}_१)]$$

$$\therefore \quad \text{पु}_१ - \text{पु} = (\text{पु}_२ - \text{पु}) + (\text{पु}_२ - \text{पु}) (\text{त}_२ - \text{त}_१) . \text{व}_{\text{प्र}}$$

$$\therefore \quad \text{व}_{\text{प्र}} = \frac{\text{पु}_१ - \text{पु}_२}{(\text{पु}_२ - \text{पु}) . (\text{त}_२ - \text{त}_१)}$$

तरल स्थैतिकीय रीति (hydrostatic method)

आर्किमिडीज्चा तरलातील भारहानि संबंधीचा सिद्धान्त या रीतीत उपयोगात आणला आहे. तरलात बुडणाऱ्या एका सान्द्र वस्तूच्या (भा) भाराचे तुलेने निश्चयन करतात, त्यानंतर ती वस्तू ०°श. ताप असलेल्या तरलात बुडवून त्या वस्तूचा तरलातील ($\text{भा}_०$) भार निश्चित करतात. तरलाचा ताप वाढवून त्याचा ($\text{त}_१$) उच्चताप स्थिर झाल्यावर त्याच सान्द्राचा, ($\text{त}_१$) तापावरील तरलातील ($\text{भा}_१$) भार निश्चित करतात.

$$\left.\begin{matrix}\text{०° श. ताप असताना} \\ \text{सान्द्राची तरलात} \\ (\text{भा}_०) \text{ भारहानि}\end{matrix}\right\} = \text{भा} - \text{भा}_० = \left\{\begin{matrix}\text{सान्द्राच्या घनिमेने} \\ \text{उत्सारित झालेल्या ०° श} \\ \text{तापावरील तरलाचा भार}\end{matrix}\right.$$

$$\text{भा} - \text{भा}_० = \frac{\text{भा}}{\text{घ}} \text{घ}_० \qquad \ldots (१)$$

वरील समीकरणात ०° श तापावरील तरल आणि सान्द्र यांच्या घनता अनुक्रमे $\text{घ}_०$ आणि घ आहेत.

त्याचप्रमाणे, द्रवाचा ताप त$_1$° श. असताना,

गोळ्याची तरलातील भारहानि,

$$\text{हा}_1 = \text{भा} - \text{भा}_1$$

$$= \frac{\text{भा}}{\text{घ}}(१ + \text{क}\ \text{त}_1)\ \text{घ}_1 \ldots\ (२)$$

वरील समीकारात क हा गोळ्याच्या द्रव्याचा घनविस्तार-गुणक असून, घ$_1$ ही तरलाची त$_1$° श. तापावरील घनता आहे. समीकार (२) ने समीकार (१) ला भागून,

$$\frac{\text{भा} - \text{भा}_0}{\text{भा} - \text{भा}_1} = \frac{\text{घ}_0}{\text{घ}_1\ (१ + \text{क}\ \text{त}_1)}$$

परंतु $\frac{\text{घ}_0}{\text{घ}_1} = (१ + \text{व}_{\text{स}}\ \text{त}_1)$, समीकार ८-४ अनुसार

मात्र व$_{\text{स}}$ हा तरलाचा सत्य विस्तारगुणक आहे.

$$\frac{\text{भा} - \text{भा}_0}{\text{भा} - \text{भा}_1} = \frac{१ + \text{व}_{\text{स}}\ \text{त}_1}{१ + \text{क}\ \text{त}_1} = \frac{\text{हा}_0}{\text{हा}_1}$$

०° श. आणि त$_1$° श. तापावर वस्तूची तरलातील भारहानि निश्चित करून, व$_{\text{स}}$ आणि क या दोहोंपैकी एकाची अर्हा माहीत असल्यास दुसऱ्याची अर्हा गणन करता येईल.

वापीडमान शोधन

(correction for barometer reading)

प्रयोगशाळेंत कोष्टतापावर वापीडमान असताना त्याच्या वाचना वरून वायुमण्डलीय निपीडाचें गणन करण्यात दोन विभ्रम संभवतात– (१) मापपट्टीचे अंकन सामान्यत ०°श वर केलेले असते. या मापपट्टीचा ताप त°श असताना तिच्या साहाय्याने वाचलेल्या पारदस्तम्भाचा आयाम छा असल्यास या पारदस्तम्भाचा वास्तविक आयाम, छा (१ + अ त) इतका असतो (मापपट्टीचे विस्तरण – पृष्ठ १९३ पाहा) तसेच, पारदाचा ताप त° श असून त्याची या तापावरील घनता घ असल्यास,

$$वायुमण्डलीय\ निपीड = छा\ (१ + अ\ त)\ घ\ भू$$

हा वायुमण्डलीय निपीड ०°श ताप असलेल्या पारदाच्या $छा_०$ स्तम्भाने तुलित झाल्यास,

$$छा_०\ घ_०\ भू = वायुमण्डलीय\ निपीड = छा\ (१ + अ\ त)\ घ\ भू$$

यात $घ_०$ ही ०°श तापावरील पारदाची घनता आहे

$$छा_० = छा\ (१ + अ त)\ \frac{घ}{घ_०}$$

परंतु $$\frac{घ}{घ_०} = \frac{१}{१ + व_{स}\ त} \quad (समीकरण\ ८ – ५\ अनुसार)$$

येथ $व_{स}$ हा पारदाचा सत्य विस्तार-गुणक आहे

$$छा_० = छा\ \frac{(१ + अ\ त)}{(१ + व_{स}\ त)}$$

$$\text{उ}_{०} = \text{उ}\,(१ + \text{अ}.\,\text{त})\,(१ + \text{व}_{\text{प}}\,\text{त})^{-१}$$

द्विपद प्रमेयाचा उपयोग करून आणि $(\text{व}_{\text{प}}\,\text{त})^{२}$ इत्यादि अल्पतर राशी उपेक्षून,

$$\therefore \text{उ}_{०} = \text{उ}\,(१ + \text{अ}\,\text{त})\,(१ - \text{व}_{\text{प}}.\text{त})$$

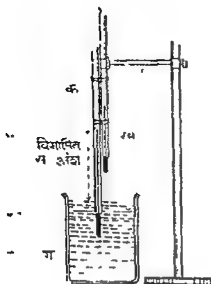
उजव्या पक्षातील गुणाकारात येणारा $(\text{व}_{\text{प}}.\text{अ}.\,\text{त}^{२})$ अल्पतर राशी उपेक्षून,

$$\text{उ}_{०} = \text{उ}\,[\,१ - (\text{व}_{\text{प}} - \text{अ})\,\text{त}\,]$$

वरील सूत्राच्या साहाय्याने त कोष्टताप असलेल्या पारद-वायुभारमानाच्या वाचनाचे शोधन करून, ०° श ताप असलेल्या पारदस्तम्भाच्या आयामाने वायुमण्डलीय निपीड दर्शविता येते.

विगोपित स्तम्भ विभ्रम (exposed stem correction)

कोणत्याहि तापमानाचे वाचन घेताना त्याचा कन्द आणि स्तम्भ या दोहोंतील पारदाचा ताप एकच असणे अवश्य आहे. क तापमानाच्या विगोपित भागातील अंशांची संख्या स आहे व तापनाचा वास्तविक ताप $\text{त}_{२}$ असताना क तापमानाचे वाचन त आहे असे समजू. विगोपित स्तम्भाला सन्निधित ठेवलेल्या ख ह्या दुसऱ्या तापमानाने या विगोपित स्तम्भाचा ताप $(\text{त}_{१})$ मापता येतो (आकृति ८–५ पाहा). समजा, क तापमानाच्या कोणत्याहि निकटच्या दोन अंशाच्या खुणामधील परिमा य आहे. विगोपित स्तम्भातील $\text{त}_{१}$ या तापावरील पारदाची परिमा $(\text{स} \times \text{य})$ असून,



आ. ८-५

पारदाचा ताप $त_2$ झाल्यास परिमेचे वर्धन [स. य. $व_{प्र}$ $(त_2 - त_1)$] इतके होईल. या पदसंहतीतील $व_{प्र}$ हा पारदाचा काचपात्रातील प्रत्यक्ष विस्तार गुणक आहे. या वाढलेल्या परिमेने त° पुढील छ अंश संख्या व्यापल्यास,

$$छ \times य = स.\ य.\ व_{प्र} (त_2 - त_1)$$

अथवा,

$$छ = स.\ व_{प्र} (त_2 - त_1)$$

म्हणून, तापमानाचें वास्तविक वाचन $त_2$ असल्यास,

$$त_2 = त + छ$$

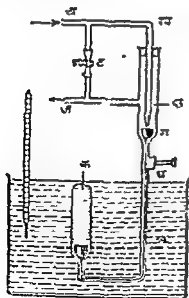
$$\therefore\ त_2 = त + स.\ व_{प्र} (त_2 - त_1)$$

वरील समीकारात वास्तविक ताप $त_2$ आणि विगोपित तापमानाचे वाचन त या दोहोंतील भेद अल्प असल्याने,

[स.व$_{प्र}$(त$_{२}$ − त)] या अल्प अर्हेच्या राशीत त$_{२}$ च्या स्थानीं प्रत्यक्ष ताप त आदिष्ट केल्यास, परिशुद्धतेत विशेष हानि होत नाही. म्हणून,

$$त_{०} = त + स.व_{प्र}(त - त_{१})$$

वरील समीकरणाच्या उजव्या पक्षातील शोधन दर्शविणाऱ्या [स.व$_{प्र}$.(त − त$_{१}$)] या पदसंहतीस 'विशोषित – स्तम्भ – शोधन' म्हणतात. विशोषित पारदस्तम्भाच्या मध्यबिंदूपाशी दुसऱ्या तापमानाचा कंद संलग्न ठेवून त$_{१}$ ची अर्हा निश्चित करतात हे वर सांगितलेच आहे.



आ. ८–६

वायुनियामक (gas regulator)

अनेक शास्त्रीय प्रयोगात विशिष्ट ताप बराच काळ स्थिर ठेवण्याची आवश्यकता असते. ताप स्थिर ठेवण्यात उपयोगात आणलेल्या साधनास तापस्थाप् (thermostat) ही संज्ञा आहे. ज्या तापनाचा ताप स्थिर ठेवावयाचा आहे त्यात तापस्थाप ठेवून तापनाचा ताप दाहकाच्या साहाय्याने वाढवितात. दाहकाच्या ज्योतीला मिळणारा दाहक वायूचा प्रवाह आकृति ८–६ मध्ये

दर्शविलेल्या वाति नियामकाने (gas regulator) योग्य प्रमाणात पुरविला जातो. या वातिनियामकाचा क हा कन्द लाव आणि मोठा असून विरालेन्याने (toluene) पूर्णपणे भरलेला असतो. ख या निरुंद नळींत पारद असून या पारदाचा ग मुक्तपृष्ठ, क मधील विरालेन्याच्या परिमा–परिवर्तनाने वर खाली सरकू शकतो. तसेच घ या मळसूत्राने पारदाचा ग पृष्ठ वरखाली सरकविता येतो. च, ख या मार्गे येणारा दाहक वाति छ या चिचोळया टोकातून बाहेर पडून, ज मार्गे तापनाच्या दाहकात जातो. दाहकाच्या ज्योतीला योग्य प्रमाणात वाति मिळावा यासाठी वाति नियामकाची योजना केलेली असते

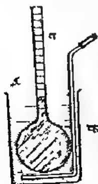
तापनाचा ताप वाढताना, क कन्दाचाहि ताप वाढून त्यातील विरालेन्याचे विस्तरण होते. त्यायोगे ख मधील पारद, वर ढकलला जाऊन ग पारदपृष्ठ वर सरकल्याने, छ द्वारे वाति येणें थांबते या स्थितीत दाहकाला वाति न मिळाल्यामुळे ज्योत विझून, तापनाचा ताप जास्त वाढत नाही. अशा रीतीने ज्योत विझल्यावर ती पुनः पेटविण्याची आणि त्याकरता सतत लक्ष ठेवण्याची अडचण टाळण्याकरता या वातिनियामकाला ट ही सकोर्ण छिद्राची नळी असते. वातीचा छ येथील मार्ग बंद झाल्यावर ज्योत लहान होऊन जळत राहण्याइतका वाति ट या उपमार्गाने दाहकाला मिळतो. तापनाचा ताप स्थिर झाल्यावर, विकिरण (radiation) आणि न्यूढहन याच्या-द्वारे (convection) उष्माहानि झाल्यामुळे तापनाचा ताप न्यून होतो. आणि यामुळे क मधील विरालेन्याचे सकोचन होऊन ग पारदपृष्ठ खाली सरकतो अर्थातच छ मार्ग मोकळा झाल्याने, दाहकात पुष्कळसा वाति येतो आणि त्याची मन्द जळणारी ज्योत मोठी होते.

तापस्थाप एखाद्या इष्ट तापावर स्थिर ठेवावयाचा असल्यास, तापनाचा ताप जेव्हा त्या इष्ट तापावर येतो तेव्हा घ मळसूत्राने,

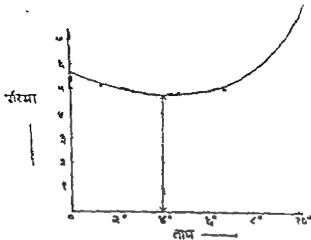
व पारद पुढे ढकलीत वर सरकवून, ह भाग जेमतेम बंद होईल असे करावे.

पाण्याचें अनियमित विस्तरण आणि पाण्याची महत्तम घनता

तरलाच्या परिमा विस्तरणाच्या अभ्यासांत असें दिसून आलें आहे की, सामान्यतः तरलाच्या विस्तार–गुणकाची अर्हा निरनिराळ्या तापक्षेत्रांत भिन्न असते. म्हणजे तापवर्धनाने तरलाच्या परिमेचें वर्धन भिन्न तापक्षेत्रांत सारख्याच प्रमाणांत होत नाही. पाण्याच्या परिमापरिवर्तनांतील अनियमितपणा पुढील साध्या सपरीक्षेने अभ्यासतां येतो. आकृति ८–७ मध्ये दर्शविलेल्या प या अग्नि पात्रांत उकळून निवळलेले स्वच्छ पाणी भरलेलें असते. [उकळण्याने पाण्यातील विलीन (dissolved) वायु पाण्यातून बाहेर जातो आणि तें पाणी वायुरहित (free from air) होतें] प हें पात्र फ या दुसऱ्या मोठ्या पात्रांत ठेवतात. मोठ्या पात्रांतील पाण्यांत थोडा थोडा हिम मिसळून त्यांतील पाण्याचा ताप कोष्ठतापापासून ०° श पर्यंत हलके हलके न्यून करतात. तापवाचन घेण्याकरता प पात्राच्या शेजारी फ पात्रांत पारदतापमान ठेवलेलें असून तापमानाचें वाचन घेऊन त्याच वेळी प पात्रांतील पाण्याचें परिमावाचनहि घेतात. अशी अनेक वाचनें घेऊन परिमावाचन आणि त्याचवेळचें तापवाचन यांचा बिन्दुरेख काढतात (आकृति ८–८ पाहा) बिन्दुरेखेवरून असें दिसून येतें की, कोष्ठतापावरून, जवळ जवळ ४° श पर्यंत ताप न्यून होत असतांना



आ. ८–७

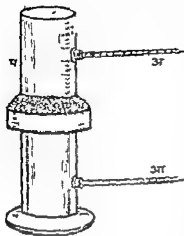


आ ८–८

पाण्याचे संकोचन होत जाते ४°श पासून ०°श. पर्यंत ताप न्यून होताना पाण्याच्या परिमेचे विस्तरण होते यावरून स्थूलमानाने ४° श ताप असताना, विशिष्ट पुंजाच्या पाण्याची परिमा अल्प असल्याने या तापावर पाण्याची घनता महत्तम असते हे लक्षात येईल या सररीसेंत पात्राच्या धारितेत परिवर्तन होत असल्याने पाण्याच्या परिमा-निश्चयनात योग्य ती परिशुद्धता साधणे कठिण असत परिमेच्या प्रत्यक्ष-वाचनाचा उपयोग न करता दुसऱ्या अन्य रीतीने पाण्याच्या महत्तम घनतेचा ताप पुढीलप्रमाणे निश्चित करता येतो

होपचे साधित्र (Hope's apparatus)

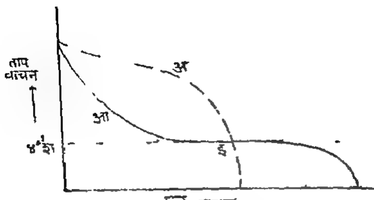
प या स्तम्भाकार काच पात्रात कोष्ठतापावरील स्वच्छ पाणी भरतात. पात्रातील अनुक्रमे वरच्या आणि खालच्या भागातील पाण्याचा ताप अ आणि आ या तापमानाच्या वाचनाने समजतो. (आकृति ८–९ पाहा) या स्तम्भाच्या मध्यभागाभोवती धातूचे पात्र बसविलेले असून, या धातुपात्रात मीठ आणि हिम यांचे मिश्रण



आ ८-९

भरलेले असते या मिश्रणाने रम्भपात्रातील पाणी शीत होताना संकोचन पावून त्याची घनता वाढते म्हणून हे शीत पाणी प च्या तळाशी जाते यामुळे, आ तापमानाचे वाचन कोष्ठतापावरून न्यून होऊ लागते नंतर अ चे तापवाचन न्यून होऊ लागते अशा रीतीने तापमानाचा ताप न्यून होत होत काही वेळाने त्याचे तापवाचन ४° श पर्यंत येते यानंतर केवळ अ तापमानाचाच ताप ४° श पेक्षा न्यून होत जाऊन तो ०° श पर्यंत उतरतो

अ आणि आ या तापमानाची योग्य कालान्तराने घेतलेली वाचने रेखापत्रावर अंकन करून त्याचे शीतन वक्र (cooling curves) काढल्यास त्यावरून असे दिसून येते की, हे वक्र इ बिन्दूत परस्परास छेदतात (आकृति ८-१० पाहा) मीठ आणि हिम यांच्या मिश्रणाजवळील रम्भपात्राच्या भागातील पाण्याचा ताप इ या छेदन बिन्दूने दर्शविलेल्या तापापेक्षा न्यून झाल्यास, या पाण्याची घनता आ जवळील पाण्याच्या घनतेपेक्षा न्यून होऊन ते पाणी प पात्रातील वरच्या भागातच राहते, यामुळे आ पेक्षा अ चा ताप भराभर न्यून होऊ लागतो इ बिन्दूने दर्शविलेल्या तापाची अर्हा ४° श आहे हे बिन्दुरेखेवरून दिसून येते म्हणून ४° श तापावर पाण्याची घनता महत्तम असते



आ ८–१०

पाण्याच्या महत्तम घनतेची अर्हा शि घा, वा पद्धतीत १ धान्य प्रति घन शि. मा इतकी आहे

पाण्याच्या अनियमित परिमावर्धनाची घटना जीवसृष्टीच्या दृष्टीने महत्वाची आहे शीत कटिबंध आणि त्या जवळील प्रदेशांत हिवाळ्यातील वायुमण्डलिक अल्प तापाने जलाशय आणि समुद्र इत्यादींतील पाण्याचा ताप बराच अल्प होतो पृष्ठावरील पाण्याचा ताप अल्प होत असताना, पाण्याची परिमा सङ्कोचित होऊन त्याची घनता वाढते आणि हे शीतपाणी जलाशयाच्या तळाशी जाते अशा रीतीने जलाशयांतील सपूर्ण पाण्याचा ताप ४° श. होतो पृष्ठभागावरील पाण्याचा ताप ४° श पेक्षा न्यून झाल्यास त्याची परिमा वाढल्याने घनता अल्प होऊन हे पाणी पृष्ठभागावरच राहते याप्रमाणे पाण्याचा पृष्ठाचा ताप ०° श होऊन ते गोठन व त्यावर हिमाचा जाड थर जमतो परतु या हिमाच्या थराखाली पाणी ४° श तापावर तरल-

स्थितीतच असते. यामुळे, जलाशय आणि समुद्र यांचे पृष्ठभाग गोठले तरी आंतील पाण्यांत वनस्पति आणि जलचर प्राणी जिवंत राहू शकतात.

प्रश्न

(१) एका सान्द्राचा भार ४२·७८० धान्य आहे आणि २०° श तापावर त्याचा तरलांतील भार ३७·६८० धान्य आहे सान्द्र ७०° श. तापावरील तरलात बुडलेला असता त्याचा भार ३७·७६५ धान्य असल्याचे आढळते. सान्द्राचा अनुरेख विस्तार गुणक ०·००००२ असल्यास तरलाच्या सत्य विस्तार-गुणकाचे गणन करा

(२) काचेच्या कोरड्या भार-तापमानाचा भार ४० धान्य आहे ०° श तापावर त्यात पारद पूर्ण भरल्यानंतर त्याचा भार ४६० धान्य होतो. भार-तापमान १००° श पर्यंत तापविल्याने ६·८५ धान्य पारद बाहेर पडतो पारदाचा सत्य विस्तार गुणक ०·०००१८२ असल्यास काचेचा घन विस्तार-गुणक काढा. (पृष्ठ २१० वरील तळ टीपेंतील समीकाराचा उपयोग करावा)

(३) एका मापपट्टीचे १५° श वर अंकन केलेले आहे. पट्टीच्या द्रव्याचा अनुरेख विस्तार गुणक ०·००००२ आहे मापपट्टीचा ताप ३०° श असताना तिच्या साहाय्याने घेतलेले पारद-स्तम्भाचे वाचन ७६·०० शि मा असल्यास पारदस्तम्भाची वास्तव उंची किती असावी ?

(४) पितळ आणि पारद यांचे घन विस्तार-गुणक अनुक्रमे ०·००००३६ आणि ०·०००१८६ आहेत कोष्ठताप २०° श असताना वायुभारमानाचे वाचन ७३·८० शि मा आहे ह्या वाचनाचे ०° श तापावर शोधन करा

(५) तापमानात भरलेल्या पारदाचा प्रत्यक्ष विस्तारगुणक ०·०००१५५ आहे. नळीवरील दोन लगतच्या अशामधील अतर ०·२ शि. मा आहे. केशालनळीचा अनुप्रस्थ छेद ०·०००४ वर्ग शि मा. असल्यास या तापमानाच्या कन्दाची धारिता काढा.

(६) काचेच्या भार–तापमानात ०° श. वर ५६ ८० धान्य पारद भरला आहे. काचेचा अनुरेख विस्तार गुणक ०·००००३० आणि पारदाचा सत्य विस्तार गुणक ०·०००१८२ आहे तर १००° श. तापावर भार–तापमान पूर्ण भरण्यास किती पारद लागेल ?

(७) सत्य आणि प्रत्यक्ष घन विस्तारातील भेद स्पष्ट करून या दोहोमधील सबध दर्शविणारा समीकार सिद्ध करा

(८) (अ) तल विस्तार गुणकाची (coefficient of superficial expansion) अर्हा अनुरेख विस्तार गुणकाच्या अर्हेच्या दुप्पट असते हे सिद्ध करा.

(आ) समायताकाराच्या (square) एका पितळी पत्र्याच्या विकर्णाची लाबी ०° श तापावर २० शि. मा. आहे. ५०° श तापावर त्याच्या क्षेत्रफळाचे गणन करा (पितळेचा अनुरेख विस्तार गुणक = ०·००००१९)

प्रकरण ९

वाति–विस्तरण

सान्द्र आणि तरल याच्यावरील निपीडान सामान्य परिवर्तन झाल्यास परिमेत होणार परिवर्तन तापवर्धनाने होणाऱ्या परिमा परिवर्तनापेक्षा अल्प असते. म्हणून सान्द्र आणि तरल याच्या तापवर्धनाने होणाऱ्या परिमाविस्ताराच्या अभ्यासात निपीडाचा विचार केला नाही परंतु निपीडाच्या सामान्य परिवर्तनानेहि होणारे वातीचे परिमा-परिवर्तन उपेक्षणीय नसते सपरीक्षेवरून असे दिसून आले आहे की, (१) निपीड स्थिर ठेवून वातीचा ताप वाढविल्यास वातीची परिमा नियमित प्रमाणात वाढते तसेच (२) वातीचा ताप वाढवताना त्याची परिमा स्थिर ठेवल्यास त्या वातीवरील निपीडहि नियमित प्रमाणात वाढते

स्थिर निपीड असताना एका वातीच्या स्थिर पुंजाची ०° श. तापावर परिमा $पा_०$ असून $त_१$ तापावर त्या वातीची परिमा $पा_१$ असल्यास विस्तार गुणकाच्या व्याख्येनुसार,

$$अ = \frac{पा_१ - पा_०}{पा_० \; त_१} \quad .. \quad (स ९–१)$$

अथवा

$$पा_१ = पा_० \; (१ + अ \; त_१) \quad ... \; ... \quad (स ९–२)$$

अ हा वातीचा 'स्थिर निपीडावरील परिमा विस्तार गुणक' आहे यास 'परिमा-गुणक' (volume coefficient) म्हणण्याचाहि

प्रधात आहे. बऱ्याच मोठ्या तापक्षेत्रात वातींच्या परिमा गुणकाची अर्हा स्थूलमानाने स्थिर असते. तसेच ही अर्हा स्थिर निपीडाच्या अर्हेवर फारशी अवलंबून नसते. म्हणून परिमा गुणकाची अर्हा मागताना स्थिर निपीडाच्या अर्हेचा उल्लेख करीत नाहीत.

०° श. तापावर $पा_०$ परिमा असलेल्या वातीच्या, स्थिर निपीडस्थितीत $त_१$ आणि $त_२$ या भिन्न तापावरील परिमा अनुक्रमे $पा_१$ आणि $पा_२$ असल्यास, समीकार ९–२ वरून,

$$पा_१ = पा_० (१ + अ.त_१)$$

आणि

$$पा_२ = पा_० (१ + अ.त_२)$$

$$\frac{पा_२}{पा_१} = \frac{१ + अ.त_२}{१ + अ.त_१} \quad \ldots \quad \ldots \quad स. ९–३$$

वातीचा परिमा गुणक अल्प नसल्याने (पृष्ठ २३३–३४ वरील मारणी पाहा) अ $त_१$ इत्यादि राशी अल्प नाहीत म्हणून,

$$पा_२ (१ + अ त_१) = पा_१ . (१ + अ. त_२)$$

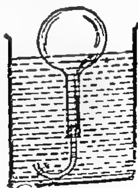
$$\frac{पा_२ - पा_१}{पा_१ त_२ - पा_२ . त_१} = अ \quad \ldots \quad \ldots \quad स. ९–४$$

वरील समीकाराच्या डाव्यापक्षाच्या पदसहतीतील राशींचे मपरीक्षाद्वारा मापन करून अ या परिमा गुणकाचे निश्चयन करता येते

प्रयोगशाळेत पुढीलप्रमाणे वातीच्या परिमा गुणकाचे निश्चयन करतात काचेच्या नळीच्या तोंडाला शिखिपीड (pinch-cock)


आ ९-१ (अ)

लावलेली एक घृपिनळी (rubber tube) दसविलेली असते आकृति ९-१ अ पाहा. चंबू कोरडा करून त्याचा (भा) भार निश्चित करतात. नंतर नळीचे उघडे तोंड पाण्याच्या पृष्ठभागाच्या थोडे वर ठेवून हा चबू जलतापनात ठेवतात. तापनाचा ($त_१$) इष्ट ताप स्थिर झाल्यावर, (सामान्यत प्रयोगशाळेत हा ताप उकळत्या पाण्याचा घेतात.) घृपिनळीचे तोंड निमिपीडाने बंद करून चबू तापनातून काढून घेतात. चबू निवून कोष्ठतापावर आल्यावर कोष्ठतापासमान ताप असलेल्या दद पात्रातील पाण्यात चबूचे तोंड बुडवून निमिपीड काढून घेतात. यामुळे च पात्रातील पाणी घृपि नळीतून चबूत शिरते. चबूतील पाणी आणि च पात्रातील पाणी याचा पृष्ठभाग समान होईल इतका चंबू पाण्यात बुडवितात. आकृति ९-१ (आ) पाहा. या स्थितीत घृपि-नळीवरील निमिपीड पूर्ववत् बंद करून चबू पात्राच्या बाहेर काढतात.


आ ९-१ (आ)

चबू बाहेरून कोरडा करून त्यातील पाण्यासह त्याचा ($भा_१$) भार निश्चित करतात यानंतर कोष्ठतापावरील पाणी चबूत पूर्ण भरून, चबूचा ($भा_२$) भार निश्चित करतात त, कोष्ठतापावरील पाण्याची घनता घ असल्यास, $\left\{ \frac{भा_२ - भा}{घ} \right\}$ ही चबूची कोष्ठतापावरील धारिता आहे चबू निवून पाण्यात बुडविल्यानंतर

त्यात शिरलेल्या पाण्याची परिमा $\left\{\frac{\text{भा}_1 - \text{भा}}{\text{घ}}\right\}$ इतकी आहे. यावरून तापनाचा त_2 ताप असताना चबूची पूर्ण परिमा व्यापणाऱ्या वायूची त_1 कोष्ठतापावरील परिमा,

$$\text{पा}_1 = \left[\frac{\text{भा}_2 - \text{भा}}{\text{घ}} - \frac{\text{भा}_1 - \text{भा}}{\text{घ}}\right]$$

$$= \frac{\text{भा}_2 - \text{भा}_1}{\text{घ}}$$

जलतापनाचा ताप त_2 असताना हाच वायू चबूची पूर्ण परिमा व्यापतो. पात्राच्या धारितेचे विस्तरण वाति-विस्तरणाच्या मानाने उपेक्ष्य असल्याने, या वायूची त_2 तापावरील परिमा,

$$\text{पा}_2 = \text{चबूची पूर्ण धारिता}$$

$$= \frac{\text{भा}_2 - \text{भा}}{\text{घ}}$$

समीकार ९–३ अनुसार,

$$\frac{\text{पा}_1}{1 + \text{अ त}_1} = \frac{\text{पा}_2}{1 + \text{अ.त}_2}$$

वरील समीकारात पा_1 आणि पा_2 याच्या भार आणि घनता यांनी वर दर्शविलेल्या अर्हा आदिष्ट करून,

$$\frac{\frac{मा_2 - मा_1}{घ}}{1 + अ.त_1} = \frac{\frac{मा_2 - मा}{घ}}{1 + अ.त_2}$$

$$\therefore \quad \frac{मा_2 - मा_1}{1 + अ.त_1} = \frac{मा_2 - मा}{1 + अ.त_2}$$

वरील समीकरणावरून वायूच्या परिमा-गुणकाची अहीं गणन करता येते, नीच ताप $त_1$ न घेतां ०°श. हा नीच ताप योजल्यास, *

$$मा_2 - मा_1 = \frac{मा_2 - मा}{1 + अ.त_2}$$

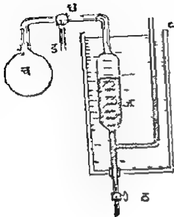
$$\therefore \quad अ = \frac{मा_1 - मा}{(मा_2 - मा_1) \times त_2}$$

रेनोचें स्थिर निपीडोष्म साधित्र
(Regnault's apparatus)

रेनोनें योजलेल्या स्थिर निपीडोष्म साधित्राने वातीच्या परिमा गुणकाचे निश्चयन जास्त परिशुद्धतेने करता येते आकृति ९–२ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे एका केशालनलिकेने या साधित्राचा च कन्द- ज या रुद नळीला जोडलेला असतो. ०° श. तापावर च कन्दात पारद भरून पारदाच्या भार निश्चयनानें कन्दाची ०° श तापा,

---

* नीच ताप शक्यतोंवर ०° श असावा कारण या अल्प तापावर प्रवाष्प निपीड (vapour pressure of water) अल्प असल्याने तें उपेक्ष्य असतें म्हणून चक्रनील आणि बाहेरील पात्राच्या पाण्याचा पृष्ठ समान तलात असताना, चक्रनील निवलेल्या वायूचें निपीड वायुमण्डलीय निपीडाएवढेंच असतें असें मानता येते



आ ९–१

वरील धारिता (धा॰ गणन केलेली असते ज या रद नळीवर ०° च तापावर परिमेचे अंकन केलेले असते छ या त्रिमार्ग-पिधेन (threeway cock) च आणि ज यातील नलिकामार्ग पाहिजे तेव्हा उघडता अथवा बंद करता येतो प्रथम छ उघडून ट नळीत पुरेसा पारद ओतून, ज नळी पारदाने पूर्ण भरतात (अर्थात् ठ तोटी यावेळी बंद असते) नंतर छ पिधा योग्य रीतीने फिरवून च आणि ज याचा संबंध तोडून च कन्द आणि ड नळी याचा संबंध जोडतात या स्थितीत ड या आखुड नळीला चूषोदंच जोडून च मधील वायु काढून घेतात यानंतर, च मध्ये कोरडा केलेला परीक्ष्य वाति भरून च आणि ड चा संबंध तोडतात (ही चूषण आणि भरण क्रिया आळीपाळीने केल्यास, च कन्दामधील परीक्ष्य वातीत बंदातील पहिल्या वायुचा अल्पांशहि रहात नाही) नंतर च कन्द हिमद्रीत जलात ठेवून, छ द्वारा च आणि ज याचा संबंध पुन जोडतात या स्थितीत ज नळीतील पारदपृष्ठ परिमेच्या ० खुणेपर्यंत आणण्याकरता अवश्य तर ट मध्ये जास्त पारद ओततात, किंवा ठ तोटीद्वारे जास्त असलेला पारद काढून घेतात परीक्ष्य वातीची ०°श वरील धा॰परिमा च कन्दाच्या धारितेइतकी आहे हे लक्षात येईल ज आणि ट नळ्यातील पारदस्तम्भाची वाचनें आणि वापीडमानाचे वाचन यावरुन परीक्ष्य वातीच्या निपीडाचे गणन करता येत (दाब

असल्यास ज आणि ट यातील पारदपृष्ठ एकाच तलात असावेत. अशा स्थितीत वापीडमानाचे वाचन परीक्ष्य वातीचे निपीड दर्शविते.)

जलतापनाच्या उकळत्या पाण्यात च कन्द ठेवल्यास, त्यांतील परीक्ष्य वातीची परिमा वाढून काही वाति ज या रुंद नळीत येते. जलतापनाचा (त) उच्च ताप स्थिर झाल्यावर च आणि ज मधील वातीचे निपीड पूर्ववत् ठेवण्याकरता, ठ तोटी उघडून, त्यातून ज मधील पुरेसा पारद बाहेर जाऊं देतात. अशा रीतीने वातीचे निपीड पूर्ववत् झाल्यानंतर, ज मधील पारदपृष्ठ (प) या परिमा अंकनावर असल्यास, परीक्ष्य वातीची त° श. तापावरील परिमा,

$$\text{पा} = \text{पा}_0 + \text{प}$$

यात पा_0 ही च कदाची ०° श. वरील धारिता असून तापवर्धनाने धारितेचे होणारे वर्धन उपेक्ष्य मानले आहे. वातीच्या परिमाविस्तारा संबंधीच्या सूत्रानुसार (स. ९–२ पाहा),

$$\text{पा} = \text{पा}_0 \,(१ + \text{अ}.\,\text{त})$$

या समीकारात पा ची वरील अर्हा आविष्ट करून,

$$\text{पा}_0 + \text{प} = \text{पा}_0 \,(१ + \text{अ}.\,\text{त})$$

$$\text{अ} = \frac{\text{प}}{\text{पा}_0 \times \text{त}}$$

$$= \frac{\text{परिमावर्धन}}{\text{०° श. वरील वातीची परिमा} \times \text{तापवर्धन}}$$

या सूत्राने वातीच्या विस्तारगुणकाच्या अ अर्हेच गणन करता येते. वरील रीतीत ज नळीतील वातीचा ताप व कन्दातील वातीच्या तापाइतका नसल्यामुळे परिमा–गुणकाची अर्हा पुरेशी परिशुद्ध नसते

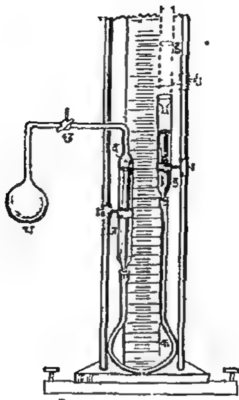
निपीड–गुणक (pressure coefficient)

वातीचा ताप वाढत असता, त्यावरील निपीड योग्य प्रमाणात वाढवून वातीची परिमा स्थिर ठेवता येते. या निपीडपरिवर्तनाच्या अभ्यासात असे दिसून आले आहे की, हे निपीडपरिवर्तन नियमित असते. म्हणून स्थिर परिमा असलेल्या वातीचे 0° श. आणि $त^\circ$ श. तापावरील निपीड अनुक्रमे ना₀ आणि ना असल्यास,

$$\frac{\text{ना} - \text{ना}_0}{\text{ना}_0 \times \text{त}} = \text{आ}$$

आ या राशीला ' वातीच्या स्थिरपरिमा स्थितीतील निपीड विस्तार-गुणक ' म्हणतात. (आ) राशीला निपीडगुणक म्हणण्याचाहि प्रघात आहे. जॉलीने योजलेल्या साधित्राने स्थिरपरिमेवरील वातीच्या निपीडविस्तार–गुणकाचे निश्चयन पुढीलप्रमाणे करतात

ब हा काचेचा बन्द वेशालनलिकेने ज या मोठ्या नळीस जोडलेला असतो आकृति ९–३ पाहा. ज च्या वरच्या टोकाला द ही एक दर्शना (pointer) असते. निपीड वाढताना पाऱ्याचा पृष्ठ या दर्शनेला स्पर्शून ठेवल्याने ब मधील वातीची परिमा स्थिर राहते (वाति विस्तरणाच्या मानाने काचेच्या पात्राच्या परिमेची वाढ अल्प असल्याने ही वाढ लक्षात घेत नाहीत) ज च्या खालच्या टोकाला क ही पूपिनळी असून, पूपिनळीच्या दुसऱ्या टोका-वरील ड या रसाधार काचपात्रातून या साधित्रात पारद भरता येतो



आ ९-३

छ या त्रिमार्ग-पिधेच्या साहाय्याने च आणि द याचा संबंध तोडून च मधील वायु चूषोदचाने काढून त्यात पर्याप्त कोरडा वायु भरतात हिमद्रीन जगात च बन्द ठेवून, ताप स्थिर झाल्यावर च आणि द याचा संबंध पुन जोडतात ह पात्र योग्य रीतीने वर अथवा खाली सरकवून, ज मधील पारदाचा पृष्ठ द देशनेला स्पर्शित

करतात. या स्थितीत परीक्ष्य वातीचे ०° स. वरील निपीड ना ने दर्शविल्यास,

ना$_{०}$ = वापीडमानाचे वाचन + ड मधील पारदपृष्ठाची द दर्शनेपासून मापलेली उंची (न$_{०}$)

यावरून, योग्य मापनाने ना$_{०}$ ची अर्हा समजते.

उकळत्या पाण्यांत व बन्द ठेवून त° दा. ताप स्थिर झाल्यावर ड पात्र पूर्वीपेक्षा जास्त वर उचलतात आणि ड पात्र ड' स्थितीत आणून ज मधील पारद पृष्ठ द शी पुन: स्पर्शित करतात. उच्च तापावर वातीचो परिमा पूर्ववत् असून या स्थितीतील वातीच्या ना निपीडाचें गणन पुढीलप्रमाणे करतात.

ना = वापीडमानाचे वाचन + ड' मधील पारद पृष्ठाची द पासून मापलेली उंची. (न)

$\frac{ना - ना_{०}}{ना_{०} . त}$ या पदसहुतीन ना$_{०}$, ना आणि त यांच्या अर्हा आदिष्ट करून, धा या निपीडगुणकाचे गणन करतात.

बऱ्याच मोठ्या तापक्षेत्रात वातीच्या परिमा विस्तार-गुणका-प्रमाणेच वातीच्या निपीडगुणकाची अर्हा स्थिर असते. कांही वातीचे परिमागुणक आणि निपीडगुणक खाली दिलेले आहेत

वाति	परिमागुणक	निपीडगुणक
उद्जन (hydrogen)	०·००३६६०९	०·००३६६२१
यानाति (helium)	०·००३६६९	०·००३६६०४
भूयाति (nitrogen)	०·००३६७४२	० ००३६७४०

वायु	परिमाणगुणक	निपीडगुणक
जारक (oxygen)	०·००४२६	०·००३६७३८
वायु (air)	०·००३६७१	०·००३६६५०
अंगार द्विजारेय (CO_2)	०·००३७६०२	०·००३७३२५
सुल्वारि द्विजारेय (SO_2)	०·००३९०३	०·००३८४५

वायूंच्या परिमा विस्ताराचा अभ्यास प्रथम गेलुसक (Gay Lussac) ह्या फ्रेंच शास्त्रज्ञाने केला. चार्लस् (Charles) या फ्रेंच रसायन शास्त्रज्ञाने परिमा विस्ताराचा जास्त अभ्यास केला आणि या अभ्यासाचा निष्कर्ष पुढील नियमाने दर्शविला; 'वायूंचे परिमा गुणक समान असून या गुणकाची अर्हा $\frac{१}{२७३}$ (अथवा ०·००३६६) इतकी आहे' या नियमास चार्लसूचा 'परिमा-विस्तार नियम' म्हणतात. सारणींतील परिमागुणकांच्या अर्हा पाहिल्यास असे दिसून येते की, सारणींतील कोणत्याहि वायूच्या परिमागुणकाची अर्हा ०·००३६६ इतकी नाही. तथापि, उद्जन, यवक्षारजन, जारक, भूयादि इत्यादि वायूंच्या परिमा गुणकाची अर्हा जवळ जवळ ०·००३६६ इतकी आहे. तसेच योग्य सपरीक्षेवरून हेहि दिसून आले आहे की, वरील वायूंचा ताप स्थिर असताना त्यांचा परिमा-निपीड-संबंध, बॉईलच्या म. ता प नि नियमाने बऱ्याच परिशुद्धतेने दर्शविता येतो.

वायूंची परिमा, त्याचे निपीड आणि ताप यांचे परस्पर संबंध बऱ्याच तापमर्यादेपर्यंत बॉईलच्या म ता प नि नियमाने आणि चार्लसूच्या परिमा विस्तार नियमाने परिशुद्धतेने दर्शविता आल्यास, त्या वायूंना 'आदर्श वायु' (perfect gas) म्हणावे असा संकेत आहे

उद्‌जन, यानाति इत्यादि कोणत्याहि वातीचे परिमा-परिवर्तन अथवा निपीड-परिवर्तन तंतोतंत आदर्श वाति प्रमाणे होत नाही; (सारणी पाहा). उद्‌जन, यानाति इत्यादि वातींना आदर्श मानून चार्लसच्या नियमाप्रमाणे गणन केलेले परिमापरिवर्तन आणि सपरीक्षात घडून येणारे त्याच वातीचे परिमापरिवर्तन ह्या दोहोंतील भेद फारच अल्प असतो म्हणून विस्तरणाच्या चर्चेत आणि गणनांत हे वाती आदर्श मानण्याचा प्रघात आहे.

प्रागार द्विजारेय (carbon dioxide), गुल्वारि द्विजारेय (sulphur-dioxide) या वातींच्या परिमागुणकाच्या अहीं ०·००३६६ पेक्षा भिन्न आहेत हे वरील सारणीवरून लक्षात येईल. तथापि निपीड अल्प असताना, प्रागार द्विजारेय वगैरे सारख्या जास्त जटिल व्यूहाणु असलेल्या वातींचेहि तापवर्धनाने होणारे परिमा-परिवर्तन स्थूलमानाने आदर्श वातीप्रमाणेच होते

वाति-तापमान (gas thermometer)

वातींचा ताप वाढल्याने होणारे परिमावर्धन आणि निपीड-वर्धन सामान्यत. तरलाच्या परिमावर्धनापेक्षा जास्त नियमित असते; म्हणून तापमानात वाति योजल्यास अशा प्रकारच्या वाति-तापमानाने तापमान जास्त परिशुद्धतेने करता येईल तापमापनातील परिशुद्धतेचा विचार केल्यास, परिमावर्धनाने ताप मापण्यापेक्षा स्थिर परिमेवरील निपीडवर्धनाने ताप मापणे, शास्त्रीय दृष्ट्या परिशुद्ध ठरते कारण आकृति ९–३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे घ आणि ज मधील वातीचा ताप भिन्न असल्याने, परिमावर्धनाने ताप मापणे नितांत परिशुद्ध नसते.

प्रमाप वाति-तापमान
(standard gas thermometer)

मागील परिच्छेदात वर्णिलेल्या बॉलीच्या साधित्राचा

वायुतापमानाप्रमाणे उपयोग करता येईल. परन्तु वायुतापमानाचा मुख्य उपयोग प्रमाण तापमान म्हणून करावयाचा असल्यास, खालील्या सविस्तर यन्त्राच सुधारणा करणें अवश्य आहे. आकृति ९-४ मध्ये दर्शविलेल्या तापमानांत या सुधारणा योजल्या आहेत

वायुतापमानाचा च कन्द महातु आणि घनातु (iridium) यांच्या मिश्रधातुचा केलेला असल्याने, तापपरिवर्तनांत या कन्दाची परिमा जवळ जवळ अचलच असते. ड हें रम्भपात्र वर किंवा खाली सरकवून पाऱ्याचा पृष्ठ द देशनेला स्पर्शित ठेवतात. ड या रम्भपात्रांतील पाऱ्यात बुडलेल्या फ नळींतील पारदस्तम्भ वायुमण्डलीय निपीड दर्शवितो. निपीड वाचनाच्या सोयीकरता फ नळीचा वरचा व भाग द देशनेच्या वर लम्ब रेषेंत येईल अशा रीतीनें फ नळी वाकविलेली असते द आणि फ मधील पारदपृष्ठांतील अंतर, तापमानाच्या च कन्दांतील वायूचें निपीड दर्शविते. हें अंतर उन्नेयमानाने (cathetometer) मापतात. यामुळे वायुदाबमानाचें स्वतंत्र वाचन घेण्याचें कारण उरत नाही

वायु तापमानांतील विभ्रम

फ जवळील पारदतापमानानें या पारदस्तम्भाचा ताप समजतो. त्यावरून वरील पारदस्तम्भाच्या वाचनाचें शोधन करता येतें. त्याचप्रमाणे तापवर्धनाने आणि त्याबरोबरच कन्दांतील वायूच्या निपीडवर्धनाने, या तापमानाच्या च कन्दाची धारिता थोडी वाढते तसेच क केशालनलिकेतील वायूचा ताप, च कन्दांतील वायूपेक्षा थोडा भिन्न असतो. उच्च तापमानात वरील सूक्ष्मता साधावयाची असल्यास, वरील विभ्रम लक्षात घेऊन योग्य शोधन करणें अवश्य असते ५००° श पर्यंत तापमापन करण्यास, उद्जन वायूचा उपयोग करतात. या पुढील तापक्षेत्रात १०००° श.

आ. ९-४

पर्यंत तापमापन करण्यास, भूयाति उपयोगात आणतात. कारण, उच्चतापावर धातुपात्रातून उद्जन थोडा प्रसृत होतो. तसेंच अल्पताप मापण्यास यानातिचा उपयोग करतात. कारण यानातिचा तरलनताप (temperature of liquefaction) अत्यल्प आहे.

वातितापमानाचा उपयोग केल्याने, पुढील लाभ होतात.

(१) वातीचा निपीडगुणक हा तरलाच्या परिमाणगुणकापेक्षा बराच मोठा असल्याने, तापपरिवर्तन जरी अल्प झालें, तरी वातीच्या निपीडांत बरेंच परिवर्तन होतें. म्हणून तापपरिवर्तन अल्प असलें तरी त्याचें मापन करतां येतें. दुसऱ्या शब्दांत सांगावयाचें म्हणजे तरलतापमानापेक्षा वातितापमान जास्त सूक्ष्म असतें.

(२) वातितापमानाचें तापक्षेत्र (range) तरलतापमानाच्या तापक्षेत्रापेक्षा बरेंच मोठें असतें. उदाहरणार्थ पारदतापमान −३५° श. पासून २५०° श. इतक्या तापमर्यादेंत उपयोगी पडतें. परंतु वाति तापमानांत यानाति अथवा उद्जन यांचा उपयोग केल्यास −२००° श. पासून बऱ्याच उच्चतापापर्यंत ताप मापन करणें शक्य होतें.

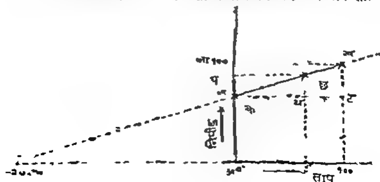
(३) सामान्यतः वातीचा निपीडगुणक $\frac{१}{२७३}$ इतका असल्यामुळें निरनिराळे वाति योजून घेतलेल्या तापमानाच्या मान वाचनांत फारसा भेद दिसत नाही

वातितापमान एका स्थळाहून दुसऱ्या स्थळीं नेणें फार गैरसोयीचें असतें. त्याचा आकारहि मोठा असल्यानें अन्वेषणांतील (research) तापमापनाकरतां याचा प्रत्यक्ष उपयोग करीत नाहींत. प्रमाण वाति–तापमान आणि पारदतापमान एकाच तापनांत ठेवून, अनेक भिन्न तापांवर वाति–तापमानानें

वाचन आणि पारदतापमानाचे सवादी वाचन सारणीत नोंदतात. या सारणीवरून प्रकरण ६ मध्ये सांगितल्याप्रमाणे शोधन विन्दुरेख काढतात अन्वेषण कार्यांतील तापवाचनात वरील पारदतापमान आणि त्याचा शोधन विन्दुरेख याचा उपयोग करून, परिशुद्ध तापाचे गणन करतात

वाति–तापमानाने इष्ट तापगणन करण्याची रीति

स्थिर परिमा असलेल्या वातीच्या निपीडमापनाने तापाचे निश्चयन पुढीलप्रमाणे करतात. ०° श आणि १००° श. (७६ शि. मा निपीडाखाली उकळणाऱ्या पाण्याच्या वाफेचा ताप) या दोन भिन्न तापावर तापमानातील वातीच्या निपीडाचे परिशुद्ध निश्चयन प्रथम करतात ताप आणि निपीड याचे विन्दुरेखपत्रावर अंकन करतात. ०° श ताप आणि $ना_०$ निपीड दर्शविणारा क विन्दु, तसेच १००° श ताप आणि $ना_{१००}$ निपीड दर्शविणारा ख विन्दु या दोहोंना साधणारी सरळ रेषा काढतात. आकृति ९–५ पाहा ज्या तापनाचा ताप गणन करावयाचा असेल, त्यात वातितापमानाचा कन्द ठेवतात इष्टताप स्थिर झाल्यावर वातीची परिमा स्थिर ठेवण्याकरता



आ. ९–५

योग्य निपीडाची योजना करून हें निपीड (ना) मापतात निपीड अक्षावरील च बिन्दूने ना निपीड दर्शवून, या बिन्दूतून तापअक्षाला समान्तर रेषा काढतात ही रेषा कख बिन्दूरेषेला छ येथे छेदते तापअक्षाला छ मधून छथत ही लंब रेषा काढल्यास त बिन्दूने दर्शविलेला ताप हा वरील तापनाचा इष्ट ताप असतो या तापगणन रीतीची गणितीय उपपत्ति पुढीलप्रमाणे आहे

आकृति ९–१ वरून असे दिसेल की, △ कखट आणि △ कछय हे समरूप असल्याने,

$$\frac{\text{खट}}{\text{कट}} = \frac{\text{छय}}{\text{कय}}$$

$$\frac{\text{ना}_{100} - \text{ना}_{0}}{\text{त}_{100}^{\circ} - 0^{\circ}} = \frac{\text{ना} - \text{ना}_{0}}{\text{त}^{\circ} - 0^{\circ}}$$

वरील परिच्छेदात सांगितलेली तापगणनाची बिन्दुरेखीय रीति या समीकारावर अवलंबून आहे आणि हा समीकार वायूंच्या निपीडवर्धनासंबंधी सत्य आहे हें पुढील विवेचनावरून दिसून येईल

वरील समीकाराच्या कोणत्याहि पक्षाकडील पदसंहतीची अर्हा ही 0° श तापावरील निपीड आणि त्या विशिष्ट तापमर्यादेतील निपीडगुणक यांच्या गुणनफलाइतकी आहे हें सहज ध्यानात येईल निपीडगुणकाचा अर्हा भिन्न भिन्न तापमात्रांवर स्थिर असतो म्हणून दोन्ही पक्षांचा अर्हा समान आहे म्हणजेच वरील समीकार सत्य असून बिन्दुरेखेवरून तापगणनाची रीति गणितीय दृष्टीने शुद्ध आहे कख बिन्दुरेषा अल्प आणि उच्च तापमात्रांवर योग्य रीतीने वाढवून अल्प आणि उच्च ताप गणन करता येतात

प्रकेवल तापश्रेणी

(absolute scale of temperatures)

वातीचा ताप आणि निपीड यातील संबंध दर्शविणारा समीकार पुढीलप्रमाणे लिहितात.

$$\text{ना} = \text{ना}_{०} (१ + \text{आ त})$$

आदर्श वातीचा निपीडगुणक $\frac{१}{२७३}$ आहे. म्हणून वातीच्या त तापाची अर्हा – २७३°श असल्यास,

$$\begin{aligned} \text{ना} &= \text{ना}_{०} [१ + (\tfrac{१}{२७३}) \times (-२७३°)] \\ &= \text{ना}_{०} (१ - १) \\ &= ० \end{aligned}$$

म्हणजे स्थिर परिमेवर – २७३°श ताप असताना आदर्श वातीचे निपीड शून्य होईल. – २७३°श पेक्षा ताप न्यून झाला अशी कल्पना केल्यास, निपीड शून्यापेक्षा न्यून होण्याची शक्यता नाही म्हणून – २७३°श. तापाखालील तापहानीचा प्रत्यय अशक्य कोटीतील आहे दुसऱ्या शब्दात मागावयाचे म्हणजे – २७३°श. पर्यंतच न्यून तापाची प्रचिती येणे शक्य आहे या अर्थाने – २७३°श तापाला 'प्रकेवल शून्य' (absolute zero) म्हणण्याचा प्रघात आहे आकृति ९–५ मधील बिन्दुरेखेवरून हाच निष्कर्ष निघतो. बग बिन्दुरेख ताप अक्षाला – २७३°श बिन्दुवर छेदते असे आढळून येईल. या छेदनबिन्दूने दर्शविलेले निपीड अर्थातच शून्य असल्याने, छेदनबिन्दूने दर्शविलेला – २७३°श. ताप प्रकेवल शून्य मानतात.

आदर्श वातीच्या परिमा गुणकाची अर्हा $\frac{१}{२७३}$ असल्यामुळे, स्थिर निपीडावरील वातीची – २७३°श तापावरील परिमा,

$$पा = पा_{०} [१ + (\frac{१}{२७३} \times -२७३)] = पा (१ - १) = ०$$

यावरून असे दिसून येईल की, निपीड स्थिर असल्यास -२७३° श. तापावर आदर्श वातीची परिमा शून्य असते. यानंतर परिमा न्यून होणे शक्य नाही, म्हणून -२७३° श. तापाखाली तापह्रासाचा प्रत्यय येणे अशक्य आहे. आदर्श वातीचा उपयोग करून घेतलेल्या तापमानाचे वाचन -२७३° श तापाच्या खाली असू शकत नाही. म्हणून या तापाला 'प्रकेवल शून्य' म्हणण्याचा प्रघात आहे हें वर सांगितलेच आहे

या प्रकेवल शून्य तापापासून तापमापन करण्याचा प्रघात आहे. या श्रेणीतील प्रत्येक अंशभागाची महत्ता (magnitude) शतिक श्रेणीच्या एका अंश भागाच्या महत्तेइतकी असते. या तापश्रेणीला 'प्रकेवल तापश्रेणी' (absolute scale of temperatures) अशी संज्ञा आहे शतिक श्रेणीवरील $त^{\circ}$ श. ताप आणि याच तापाचे प्रकेवल श्रेणीवरील तापवाचन $ता^{\circ}$ के या दोहोंचा संबंध पुढीलप्रमाणे आहे.

$$ता^{\circ} के = (२७३ + त)^{\circ} श$$

१००° श तापाचे प्रकेवल श्रेणीवरील वाचन ३७३° के. असे दर्शवितात आणि हिमद्रावणाचा प्रकेवल श्रेणीवरील ताप २७३° के. असा दर्शवितात

सृष्टीतील कोणताहि वाति उपयोगात आणून, वातितापमानाने -२७३° श तापाचा प्रत्यय येणे अशक्य असते, कारण उद्जन आणि मानाति या वातींचे तरलनताप (temperature of liquefaction) अनुक्रमे -२५३° श आणि -२६९° श. असल्याने, ह्या वातींचा उपयोग करणें अशक्य आहे कारण वातींचे तरलन झाल्यावर या तापमानाने तापमापन करता येत नाही यावरून,

−२३४° श तापाखालील ताप मापण्यास उद्जन वाति-तापमान निरुपयोगी असते हें लक्षात येईल तरलस्थितीतल्या मानातीच्या उद्वाष्पनाने तरलत्वा ताप −२७२° अथवा १° के. इतका न्यून करून यानाति सान्द्र स्थितीत आणता येतो समोष्ण विचुम्बकनाने (adiabatic demagnetisation) ०.०५° के. इतक्या अल्पतर-तापाचा प्रयोगशाळेंत प्रत्यय आलेला आहे. तरीहि प्रत्यक्ष ०° के. (−२७३° श.) तापाचा प्रत्यय येण्याची शक्यता आजहि वाटत नाही विशेष प्रकारच्या विद्युत्-रोधतापमानाने वातीचें तरलन ताप आणि इतर अल्प ताप मापतात

वाति-समीकार (gas equation)

स्थिर तापावर वातीची परिमा आणि त्याचें निपीड याचा संबंध बॉईलच्या स ता प नि नियमाप्रमाणे राहिल्यास, आणि स्थिर निपीडावरील या वातीचे परिमा विस्तरण नियमित असल्यास या वातीची परिमा, त्याचे निपीड आणि ताप याचा संबंध एका समीकाराने दाखविता येतो

समजा एका वातीची ०° श तापावरील परिमा आणि निपीड अनुक्रमे पा$_०$ आणि ना$_०$ असून, त्याच पुंजाच्या वातीची त° श तापावरील परिमा आणि निपीड अनुक्रमे पा आणि ना आहेत ०° श तापावरील या वातीच्या ना$_०$ निपीडाची अर्हा ना केल्यानें या वातीचो पा$_०$ परिमा पा′ झाल्यास बॉईलच्या स ता प नि. नियमानुसार,

ना$_०$ पा$_०$ = ना. पा′ . .. . (१)

यानंतर ना निपीड स्थिर ठेवून, या वातीचा ताप ०° श पासून

त$^{\circ}$ श पर्यंत वाढविल्याने त्याची पा$'$ पासून वाढलेली परिमा पा$''$ असल्यास, चार्लसच्या वायु परिमा-वर्धन नियमानुसार,

$$पा'' = पा' \, (१ + अ.त) \qquad \ldots \quad \ldots \quad (२)$$

समीकार (१) मधील पा$'$ ची अहीं समीकार (२) मध्ये आदिष्ट करून,

$$पा'' = \frac{ना_{०} \, पा_{०}}{ना} \, (१ + अ.त)$$

$$\therefore \quad ना \; पा'' = ना_{०} . \, पा_{०} \, (१ + अ. त)$$

त$^{\circ}$ श ताप आणि ना निपीड असताना समान पुंज असलेल्या वायूच्या पा आणि पा$''$ अशा दोन भिन्न भिन्न परिमा असू शकत नाहीत

$$पा'' = पा$$

अर्थात्,

$$ना \; पा = ना_{०} \; पा_{०} \, (१ + अ. त)$$

यावरून त$_{१}$ तापावर याच वायूची परिमा आणि निपीड अनुक्रमे पा$_{१}$ आणि ना$_{१}$ झाल्यास,

$$ना_{१} \; पा_{१} = ना_{०} \; पा_{०} \, (१ + अ \; त_{१})$$

तसेच त$_{२}$ तापावरील याच वायूच्या ना$_{२}$, पा$_{२}$ यांचा संबंध पुढील समीकाराने दर्शविता येतो

$$\text{ना}_२ \ \text{पा}_२ = \text{ना}_० . \text{पा}_० \ (१ + \text{अ}. \text{त}_२)$$

म्हणून,

$$\frac{\text{ना}_१ . \text{पा}_१}{१ + \text{अ}. \text{त}_१} = \frac{\text{ना}_२ \ \text{पा}_२}{१ + \text{अ}. \text{त}_२} = \text{ना}_० \text{पा}_० \ldots\ldots \text{स } ९\text{–}५.$$

वरील समीकाराला 'वाति-समीकार' म्हणतात वातीच्या एका स्थितीतील ताप, निपीड, परिमा ह्या माहीत असून त्याच्या दुसऱ्या स्थितीतील ताप, निपीड, परिमा या तीनपैकी कोणत्याहि दोन राशी माहीत असल्यास तिसऱ्या राशीचे गणन वाति-समीकाराच्या साहाय्याने करता येत वातीचा परिमा गुणक $\text{अ} = \frac{१}{२७३}$ असल्यास,

$$\frac{\text{ना}_१ \ \text{पा}_१}{१ + \frac{१}{२७३} \text{त}_१} = \frac{\text{ना}_२ \ \text{पा}_२}{१ + \frac{१}{२७३} \text{त}_२} = \text{ना}_० . \text{पा}_०$$

$$\frac{\text{ना}_१ . \text{पा}_१}{\frac{२७३ + \text{त}_१}{२७३}} = \frac{\text{ना}_२ \ \text{पा}_२}{\frac{२७३ + \text{त}_२}{२७३}} = \text{ना}_० \ \text{पा}_०$$

अथवा,

$$\frac{\text{ना}_१ \ \text{पा}_१}{२७३ + \text{त}_१} = \frac{\text{ना}_२ \ \text{पा}_२}{२७३ + \text{त}_२} = \frac{\text{ना}_० . \text{पा}_०}{२७३}$$

०° श, $\text{त}_१^\circ$ श आणि $\text{त}_२^\circ$ श. हे ताप प्रकेवल तापश्रेणीवर अनुक्रमे $\text{ता}_०$, $\text{ता}_१$ आणि $\text{ता}_२$ ने दर्शविल्यास,

$$२७३ + \text{त}_१ = \text{ता}_१, \ २७३ + \text{त}_२ = \text{ता}_२, \text{ तसेच } २७३ = \text{ता}_०$$

म्हणून, $\frac{१}{२७३}$ इतका परिमा विस्तार गुणक असलेल्या आदर्श वातीचा वातिसमीकार,

$$\frac{ना_{१}\,पा_{१}}{ता_{१}} = \frac{ना_{२}\,पा_{२}}{ता_{२}} = \frac{ना_{०}\,पा_{०}}{ता_{०}} = स्या \ldots \qquad स.\ ९ - ६$$

०° श. ताप असलेल्या ७६ सें. मी. पारदस्तंभाच्या निपीडास 'ऋजु वायुमण्डलीय निपीड' (normal atmospheric pressure) मानण्याचा प्रघात आहे. वातीचा ताप ०° श. असून, त्याचें निपीड ऋजु वायु मण्डलीय निपीडाइतकें असल्यास, तो वाति ऋजु ताप निपीड (normal temperature and pressure) अथवा ऋ. ता. नि. (N. T. P.) स्थितीत आहे असे म्हणतात. ऋ. ता. नि. स्थितीत वातीचें $पा_{०}$ परिमाण त्याच्या पुंजाच्या प्रमाणात असते हें स्पष्ट आहे; म्हणून समीकरण ९ – ६ मधील स्या ची अर्हा वातीच्या पुंजाशीं अनुपाति असते. वातीचा पुंज १ धान्य व्यूहाणु (gram molecule) असल्यास, $पा_{०} = २२·४ \times १०^{३}$ घ. सें. मी. म्हणून, वातीचा पुंज १ धान्य व्यूहाणु असल्यास,

$$स्या = \frac{(२२·४ \times १०^{३})\,(७६ \times १३·६ \times ९८०)}{२७३}$$

$$= ८·३२ \times १०^{७} \text{ श्रम प्रति शतिकांश}$$

{ गुरुत्वाकर्षण $= \frac{९८०\ सें.\ मी.}{सेकं^{२}}$ आणि ०° श. तापावरील पारदाची घनता = १३·६ धान्य प्रति घन. सें. मी. }

ऋ. ता. नि. वरील एक धान्य व्यूहाणु पुंज असलेल्या वातीच्या स्या अर्हेस वाति–स्थिरांक (gas constant) ही संज्ञा आहे.

सोडवून दाखविलेल्या पुढील उदाहरणावरून वाति-समीकरणाचा उपयोग लक्षात येईल.

उदाहरण—६०°श तापावर ९० घ शि मा परिमा असलेल्या वातीचे निपीड ७२० सि मा (पारदस्तम्भ) इतके आहे या वातीचे निपीड ७६० सि मा आणि ताप ३०°श असताना त्याची परिमा किती होईल ?

वातीच्या दोन्ही स्थितीत प्रकेवल ताप, निपीड आणि परिमा याच्या अर्हा खालीलप्रमाणे आहेत

$ता_2 = २७३^\circ + ६०^\circ = ३३३^\circ के$ $ता_1 = २७३ + ३० = ३०३^\circ के$

$ना_2 = ७२०$ सि मा $ना_1 = ७६०$ सि मा

$पा_2 = ९०$ घ सि मा $पा_1 =$ (गणन करण्याची राशी)

$\frac{ना_1\ पा_1}{ता_1} = \frac{ना_2\ पा_2}{ता_2}$ या वाति–समीकारात वरील अर्हा आदिष्ट केल्यास,

$$\frac{७६० \times पा_1}{३०३} = \frac{७२० \times ९०}{३३३}$$

$$पा_1 = \frac{३०३ \times ७२० \times ९०}{७६० \times ३३३}$$

$$= ७७.०३ \text{ घ सि मा}$$

प्रश्न

(१) आदर्श वातीच्या परिमा–गुणकाची अर्हा त्याच्या निपीड गुणकाच्या अर्हेइतकी असते हे सिद्ध करा

(२) पुढील समीकार सिद्ध करा.

$$\frac{\text{ना. पा}}{\text{ना}} = \text{स्था}$$

ऋजुताप निपीडावर जारकाना पुज ४ धान्य असल्यास या पुजाच्या वातीकरता स्था चें गणन करा.

(३) प्रमाप उद्‌जन तापमानाचें वर्णन करा. पारद तापमानापेक्षा वात तापमानाच्या उपयोगात विशेष लाभ कोणते आहेत ? तापमापनाकरता अचल परिमा आणि अचल निपीड वात-तापमानापैकी कोणते तापमान घ्याल ? तुमच्या उत्तराचें कारण स्पष्ट सांगा.

(४) ८° श ताप आणि ७८ शि. मा. निपीड असताना वातीची परिमा १७४० घ. शि. मा आहे. २५° श. ताप आणि ७५ शि मा. निपीड असताना या वातीची परिमा किती होईल ?

(५) १३° श. तापावर वातीची परिमा ४४ घ. शि. मा. असल्यास ३९° श तापावर २४ घ शि मा. परिमा व्यापण्यास वातीचे निपीड दुप्पट असावयास पाहिजे हें गणन करून सिद्ध करा.

(६) ०० घ शि मा परिमा आणि ७२० शि मा. निपीड असलेल्या वायूचा ताप ६०° श पासून ३०° श. पर्यंत न्यून करून त्या वायूचें निपीड ७६० शि मा केल्यास वायूची परिमा किती होईल?

(७) श ०° तापावर १००० घ शि मा लाकडाच्या तुकड्याचा भार प्रथम तुलेने निश्चित केला वायूचा विस्तार-गुणक ०·००३६७, लोखंडाचा रेषीय विस्तार–गुणक ०·००००१२ आणि ०° श तापावर १ घन वायूचा भार १·२९३ धान्य असल्यास, १००° श. तापावरील त्या तुकड्याच्या भारमापनात किती भेद होईल ?

प्रकरण १०

उषमिति

ऊष्माराशि

मागील तीन प्रकरणात तापपरिवर्तनामुळे भूतद्रव्यावर होणाऱ्या विस्तरणाचा विचार केला. या प्रकरणात ऊष्मा ही भौतिकराशि असल्याने तिच्या मापनाविषयी विचार करू.

भिन्न पुंज असलेले कोष्ठतापावरील पाणी दोन समान पात्रात ठेवून ती पात्रें एकाच दाहकाने १००° श पर्यंत तापविल्यास, जास्त पुंज असलेल्या पाण्याचा ताप वाढण्यास जास्त कालावधि लागल्याचे दिसून येते. अर्थातच या जास्त कालावधीत त्या पाण्याला अधिक ऊष्मा मिळाला असावा. वर सांगितल्याप्रमाणे ऊष्माराशीची मात्रा न्यून अथवा अधिक प्रमाणात असणे संभवते, म्हणून ऊष्माराशि ही एक भौतिक राशि असून तिचे मापन करणें शक्य आहे असे अनुमान करता येते. पाणी आणि पाण्याइतकाच पुंज असलेले दुसरे एखादें तरल दोन समान पात्रात घेऊन पाणी आणि तरल यांचा कोष्ठताप मापावा. दोन समान पुंज असलेल्या एकाच धातुद्रव्याच्या वस्तु एकाच उच्च तापापर्यंत तापनात तापवून पाण्यात एक आणि तरलात एक अशा सोडाव्या. त्यानंतर विचालकाने (stirrer) ढवळून पाणी आणि तरल यांचे स्थिर उच्च ताप मापल्यास असे दिसून येईल की, तरलाचा उच्च ताप समान पुंज असलेल्या पाण्याच्या उच्च तापापेक्षा जास्त असतो. या घटनेचा पुढीलप्रमाणे विचार करता येईल. ताप (temperature) ही एका वस्तूपासून दुसऱ्या वस्तूस मिळणारी राशि आहे अशी कल्पना केल्यास वरील सपरीक्षेत तरलाचा ताप पाण्यापेक्षा जास्त वाढतो याचा अर्थ

पाण्यापेक्षा तरलास जास्त तापराशी मिळते असा करावा लागेल. या सपरीक्षेंत एकाच धातूच्या समान पुंज असलेल्या दोन वस्तूपासून समान परिस्थितीत पाण्यास आणि समान पुंजाच्या तरलास भिन्न भिन्न तापराशि का मिळतात याचें समाधानकारक उत्तर मिळणें कठीण दिसतें.

दोन समान पात्रांत समान पुंज असलेलें कोष्ठतापावरील पाणी घेऊन त्यांत समान पुंज असलेल्या दोन भिन्न धातूंच्या वस्तु समान उच्च तापावर तापवून एका धातुपात्रांत एक आणि दुसऱ्या धातुपात्रांत दुसरी अशी सोडल्यास दोन पात्रांतील पाण्याचा वाढलेला ताप समान नसतो. ताप ही एका वस्तूपासून दुसऱ्या वस्तूस मिळणारी राशि आहे असें मानल्यास वरील सपरीक्षेंत समान पुंजाच्या पाण्यास समान परिस्थितीत समान तापराशी का मिळू नये याचाहि उलगडा सहज होण्यासारखा दिसत नाही.

दोन भिन्न तापावरील वस्तूंच्या सस्पर्शानें होणाऱ्या ताप परिवर्तनाचें समाधानकारक स्पष्टीकरण पुढीलप्रमाणें करता येतें. भिन्न ताप असलेल्या दोन वस्तु सस्पर्शित असता जास्त उष्ण वस्तूपासून दुसऱ्या वस्तूस तापराशी मिळत नसून ऊष्मा मिळतो असें मानणें उचित ठरतें.

पुढील उदाहरणानें उष्माराशीच्या देवघेवीची कल्पना जास्त स्पष्ट होईल. दोन पात्रांतील पाण्याच्या मुक्त पृष्ठाची उंची समान नसल्यास या पात्रांच्या योग्य जुळणीनें जास्त उंचीवरून पाणी न्यून उंची असलेल्या पात्रांत येतें. या घटनेंत पाण्याच्या उंचीची देवघेव न होता पाण्याची देवघेव होते. तद्वत्, दोन असमान तापस्थितीतील वस्तू सस्पर्शित असता तापराशीची देवघेव न होतां उष्माराशीची देवघेव होते आणि त्यामुळें वस्तूंच्या तापांत परिवर्तन होतें.

उष्माराशीच्या द्रव्यत्वाची कल्पना आता पूर्ण मान्य झालेली आहे या उष्माराशीच्या मापनातील एकक आणि उष्माराशीचे भिन्न प्रकाराने केलेले मापन इत्यादीचे विवरण या प्रकरणात केले आहे.

ऊष्माराशीचें एकक

ऊष्मामापनात उष्म्याचे एकक ठरविणें आवश्यक आहे १ धान्य पुंजाच्या पाण्याचा ताप १° श. वाढविण्यास लागणारा ऊष्मा-राशीस ऊष्मामापनाचे एकक मानले आहे ऊष्म्याच्या या एककास उष (calorie) ही संज्ञा आहे १ धान्य पुंजाच्या पाण्याचा ताप ४०°श पासून ४१° श. पर्यंत अथवा ६५° श. पासून ६६°श पर्यंत अथवा ९०° श. पासून ९१° श पर्यंत वाढण्यास १ एकक ऊष्मा लागेल असे अनुमान करता येईल योग्य आणि विस्तृत सपरीक्षाचा निष्कर्ष असा आहे की, १ धान्य पुंज असलेल्या पाण्याचा ताप ४०° श पासून ४१° श पर्यंत वाढविण्यास लागणारा ऊष्मा आणि त्याच पुंजाच्या पाण्याचा ताप ९०° श पासून ९१° श पर्यंत वाढविण्यास लागणारा ऊष्मा या दोन ऊष्माराशीच्या अर्हा किंचित् भिन्न आहेत यावरून, १ धान्य पुंजाच्या पाण्याचा ताप १ श ने वाढविण्यास लागणाऱ्या ऊष्म्याची अर्हा पाण्याच्या प्रारंभिक (initial) तापावर अल्प प्रमाणात अवलंबून आहे आंतरराष्ट्रीय शास्त्रीय समितीने १ धान्य पुंजाच्या पाण्याचा ताप १४.५°श पासून १५.५° श पर्यंत वाढविण्यास लागणाऱ्या ऊष्माराशीस ऊष्मा-मापनाचे एकक मानले आहे ऊष्म्याच्या या एककास 'उष' (calorie) ही संज्ञा आहे

ऊष्मामापनाच्या विवेचनात पाण्याचा प्रारम्भिक ताप कोणताहि असला, तरी १ उष ऊष्माराशीने १ धान्य पुंज असलेल्या पाण्याचा ताप १° श. ने वाढतो, त्याच प्रमाणे, १ धान्य पुंज

असलेल्या पाण्याच्या तापात १° श. ने हानि झाल्यास, त्यातून १ उष्ण ऊष्माराशि बाहेर पडून ती समोवारच्या निकट वस्तूस मिळते असे मानले आहे.

आपेक्षिक ऊष्मा (specific heat)

पु धान्य पुंजाच्या वस्तूचा ताप त° श ने वाढविण्यास लागणारी ऊष्माराशि आणि तितक्याच पुंजाच्या पाण्याला समान तापवर्धना-करता लागणारी ऊष्माराशि या दोहोंच्या निष्पत्तीला त्या वस्तूचा 'आपेक्षिक ऊष्मा' म्हणतात. या व्याख्येवरून पाण्याचा आपेक्षिक ऊष्मा १ असतो हे लक्षात येईल. आपेक्षिक ऊष्म्याच्या वरील व्याख्येव्यतिरिक्त आणखी एक व्याख्या प्रमाण मानतात. वस्तूच्या १ धान्य पुंजाचा ताप १° श. ने वाढविण्यास लागणाऱ्या उष्ण एककाने मापलेल्या ऊष्माराशीस 'वस्तूचा आपेक्षिक ऊष्मा' म्हणतात.

तापीय धारिता (thermal capacity)

पु पुंज असलेल्या द्रव्याचा आपेक्षिक ऊष्मा ऊ असल्यास वस्तूचा ताप १° श. ने वाढविण्यास (पु×ऊ) इतके उष्ण ऊष्मा द्यावा लागेल. तसेच या वस्तूचा ताप त° श. ने वाढविण्यास या वस्तूस (पु×ऊ×त) उष्ण ऊष्मा द्यावा लागेल. त्याचप्रमाणे या वस्तूची त° श ने तापहानि झाल्यास, (पु×ऊ×त) उष्ण ऊष्मा वस्तूतून बाहेर पडून इतर निकटवर्ति वस्तूस मिळेल. (पु×ऊ) या गुणनफलाइतक्या ऊष्माराशीस त्या वस्तुपुंजाची 'तापीय धारिता' अशी संज्ञा आहे

आपेक्षिक ऊष्म्याचें निश्चयन करण्याच्या रीति

(१) सान्द्र वस्तूच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे निश्चयन

सान्द्र वस्तूच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे निश्चयन मिश्रण रीतीने

(method of mixtures) करतात. या रीतीचे विवेचन पुढील प्रमाणे आहे. पु पुंज असलेला सान्द्र त या विवक्षित उच्च तापापर्यंत तापवून, तो लगेच एका पात्रातील $पु_१$ पुंजाच्या पाण्यात बुडवितात. या स्थितीत सान्द्राचा ताप न्यून होताना, त्यातील ऊष्मा पाण्याला मिळून त्याचा ताप वाढतो. या पाण्याचा प्रारंभिक ताप $त_१$ आणि तप्त सान्द्र पाण्यात बुडविल्यानंतर पाण्याचा अंतिम उच्च ताप $त_२$ यांची वाचनें घेतात.

शीत होताना तप्त सान्द्राने दिलेला ऊष्मा = पाण्याच्या
[तापवर्धनाला लागणारा ऊष्मा.

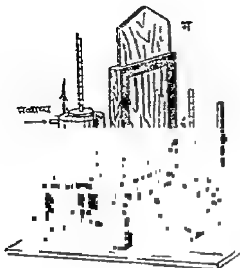
उष्मितीचा (calorimetry) वरील मूळ नियम खालील समीकाराने दर्शविता येतो.

$$पु \times ऊ (त - त_२) = पु_१ (त_२ - त_१)$$

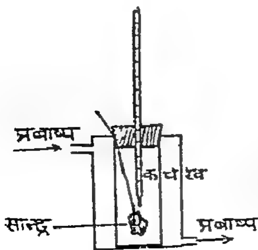
वरील समीकारात ऊ हा सान्द्राचा आपेक्षिक ऊष्मा आहे. ऊ या राशि व्यतिरिक्त इतर राशींचे सपरीक्षेत मापन करून, वरील समीकाराच्या साहाय्याने सान्द्राच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे गणन करता येते.

मिश्रण रीतींतील विभ्रम

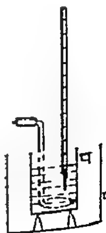
परिशुद्धतेच्या दृष्टीने वरील समीकारात पाण्याच्या पात्राने घेतलेला ऊष्माहि विचारांत घेणें अवश्य आहे, कारण पाण्याचा ताप वाढत असताना त्या पात्राचाहि ताप वाढतो. तसेच या पात्राचा ताप वाढताना विकिरण, न्युद्वहन इत्यादींच्या द्वारे होणारी ऊष्माहानि वरील समीकारात विचारात घेतलेली नाही हे आणि इतर अनुषंगिक विभ्रम टाळण्यास आपेक्षिक उष्म्याचे परिशुद्ध निश्चयन पुढीलप्रमाणे करण्याचा प्रघात आहे.



प्रथम परीक्ष्य
सान्द्राचा पु
पुज तुलेच्या
सा हा य्या ने
निश्चित करतात
नतर हा सान्
विशेप प्रकारच्या
तापनात ताप
वितान.आकृति
१०–१पाहा क
आणि ख हे
दोन समाक्ष
(coaxial)
पोकळ स्तम



आ १०–१



असून, त्यामधील च भागातून बाष्पित्रातील प्रबाष्प प्रवाहित होत असते. क रम्भातील पोकळीत परीक्ष्य सान्द्र दोऱ्याने अधोगत बांधलेला असतो. प्रबाष्पामुळे क रम्भातील वायूचा ताप वाढून रम्भातील परीक्ष्य सान्द्राचाहि ताप वाढतो. सान्द्राला स्पर्श करून ठेवलेल्या तापमानाचे वाचन स्थिर झाल्यावर हें (न°) वाचन टिपून घेतात. प हे रम्भाकार पात्र क च्या खाली आणतात. तापमानाचे खालचे द्वार उघडून सान्द्र ज्या दोऱ्याला बांधलेला असतो तो दोरा तोडून अथवा दोरा त्वरित खाली सोडून तप्त सान्द्र प पात्रातील पाण्यात बुडवितात. प आणि फ ही दोन समाक्ष रम्भाकार पात्रें असून, फ च्या तळावरील लोकर, कापूस इत्यादि कुवाहि (bad conductor) पदार्थांच्या थरावर प पात्र ठेवलेले असते. विचालकासहीत प पात्राचा ($पु_1$) पुंज तुलेने मापतात. नंतर स्थूलमानाने पात्राच्या $\frac{3}{4}$ भारित्ते इतके पाणी त्यात ओतून, या पाण्याच्या (पा) पुंजाचे निश्चयन करून पाण्याच्या ($त_1$) तापाचे वाचन घेतात (सामान्यत हें वाचन कोष्ठतापा-इतकेच असते). प पात्रातील पाणी व विचालकाने ढवळून पाण्याच्या सर्व भागाचा ताप समान ठेवता येतो. प, फ पात्रें आणि विचालक ताम्र्याची केलेली असतात. प आणि फ पात्राचे पृष्ठभाग चकचकीत असतात. यामुळे पात्रातून विकिरणाने होणारी ऊष्माहानि बरीच अल्प असते. प, फ पात्र आणि विचालक यांच्या जुळणीला 'उपमान' (calorimeter) ही संज्ञा आहे

प पात्रातील पाण्यांत तप्त सान्द्र बुडविल्यावर लगेच विचालकाच्या साहाय्याने पाणी हलक्या हाताने ढवळून तापमानानें पाण्याच्या $त_2$ या अन्तिम उच्च तापाचे वाचन टिपून घेतात

शीत द्रोनांना तप्त वस्तूनी बाहेर टाकलेला उष्मा	=	शीत वस्तूच्या तापवर्धनाला लागणारा उष्मा

म्हणून,

शीत होताना तप्त सान्द्राने बाहेर टाकलेला ऊष्मा = उपमानातील पाण्याने घेतलेला ऊष्मा + उपमानाने घेतलेला ऊष्मा + ऊपमानापासून विकिरण इत्यादींनी झालेली ऊष्माहानि.

यावरून पुढील समीकार लिहिता येतो.

$$पु \times ऊ \times (त - त_2) = पा \times (त_2 - त_1) + पु_1 \times ऊ_1 \times (त_2 - त_1) + क्ष \quad ...स. १०-१.$$

वरील समीकारात पु आणि $पु_1$ अनुक्रमे परिस्थ सान्द्र आणि उपमान यांचे पुंज असून, सान्द्र आणि उपमान यांच्या वस्तूद्रव्यांचा आपेक्षिक ऊष्मा अनुक्रमे ऊ आणि $ऊ_1$ यांनी दर्शविला आहे. पा हा उपमानातील पाण्याचा पुंज आहे.

विकिरणाने झालेल्या क्ष ऊष्माहानीचे गणन करण्याच्या रीतींचे विवेचन पुढील भागात योग्य स्थळी दिले आहे. प्रयोगशाळेतील उपमानाच्या सपरीक्षातील गणनात, क्ष ची अर्हा अल्प असल्यामुळे सामान्यत ती उपेक्ष्य मानण्याचा प्रघात आहे ऊ या राशि व्यतिरिक्त इतर राशींच्या सपरीक्षेने मापलेल्या अर्हा, वरील समीकारात आदिष्ट करून, सान्द्राच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे गणन करतात.

वर वर्णन केलेल्या सपरीक्षेत सान्द्र तापविताना त्याला वाफेचा स्पर्श होत नसल्याने, उपमानाच्या पाण्यात सोडते वेळी तो तप्त सान्द्र कोरडा असतो तसेच सान्द्र वस्तूला तापनातून

अति शीघ्रतेने काढून, लगेच उपमानाच्या पाण्यात सोडल्याने, पाण्यात बुडताना सान्द्राचा ताप त इतकाच असतो असे परिशुद्धतेने मानता येते. वाष्पित्र आणि तापन या दोहोमध्ये असणाऱ्या भ लाकडी पडद्यामुळे परीक्ष्य सान्द्र तापवितांना बाष्पित्रापासून विकिरत होणाऱ्या ऊष्म्याने साधित्राच्या एका भागास ठेवलेल्या उपमानाचा ताप वाढत नाही

आपेक्षिक ऊष्म्याच्या विस्तृत अभ्यासावरून असे दिसून आले आहे की, आपेक्षिक ऊष्म्याची अर्हा सान्द्राच्या द्रव्यावर अवलबून असून भिन्न भिन्न तापक्षेत्रात द्रव्याचा आपेक्षिक ऊष्मा थोडा बहुत भिन्न असतो (ऊष्मा–एककाची माहिती देताना पाण्यासंबंधी केलेल्या विवेचनात ह्या विषयी विवेचन आलेलेच आहे)

(२) तरलाचा आपेक्षिक ऊष्मा

तरलाचा आपेक्षिक ऊष्मा निश्चित करावयाचा असल्यास, उपमानाच्या पात्रात या तरलाचा पु' पुंज घेऊन त्या तरलात मागे दिलेल्या रीतीप्रमाणेच तप्त सान्द्र बुडवितात मान या सान्द्राचा आपेक्षिक ऊष्मा माहीत असणे आवश्यक असत

शीत होत असताना सान्द्राने दिलेला ऊष्मा	=	उपमान आणि त्यातील तरल यानी घेतलेला ऊष्मा +क्ष, (विकिरीत ऊष्मा)

$$\text{पु.ऊ}(\text{त}-\text{त}_{\text{२}})=\text{पु}'.\text{ऊ}'(\text{त}_{\text{२}}-\text{त}_{\text{१}})+\text{पु}_{\text{१}}.\text{ऊ}_{\text{१}}(\text{त}_{\text{२}}-\text{त}_{\text{१}})+\text{क्ष}$$

वरील समीकारात तरलाचा आपेक्षिक ऊष्मा ऊ' ने दर्शविला आहे ह्या समीकारातील इतर राशी समीकार स १०–१ प्रमाणेच दर्शविलेल्या आहेत

(३) विलयित सान्द्राचा आपेक्षिक ऊष्मा

पाण्यात विलय होणाऱ्या सान्द्राचा आपेक्षिक ऊष्मा निश्चित

करावयाचा असल्यास, ज्या तरलात तो परीक्ष्य सान्द्र अविलेय असतो ते तरल उपमानात ठेवतात. या तरलाचा आपेक्षिक ऊष्मा माहीत असणें आवश्यक आहे

उपमानाचा जलसमाहं
(water equivalent of a calorimeter)

उपमानाच्या प पात्राचा १° श. ताप वाढविण्यास ($पु_1 \times ऊ_1$) उप ऊष्मा द्यावा लागेल हे स्पष्ट आहे. ($पु_1 \times ऊ_1$) इतके थान्य पाणी घेतल्यास या पुंजाच्या पाण्याचा ताप १° श वाढविण्यास, ($पु_1 \times ऊ_1$) उप ऊष्मा द्यावा लागतो, म्हणून ($पु_1 \times ऊ_1$) पुंज असलेल्या पाण्याला उपमानाचा 'जलसमाहं' (water equivalent) अशी संज्ञा योजली आहे उपमानाच्या जलसमाहेंचे निश्चयन पुढील सपरीक्षेने करतात

एका काचपात्रात पाणी घेऊन ज्योतीद्वारे या पाण्याचा ताप सावकाश वाढवितात या पाण्याचा ताप सामान्यत कोष्ठतापापासून १५° पेक्षा जास्त झाल्यावर त्याच त ह तापवाचन घेतात; आणि लगेच काचपात्रातील काही ऊष्ण पाणी उपमानातील $त_1$ कोष्ठतापावरील पाण्यात ओततात, नतर उपमानातील पाणी ढवळून त्याच्या $त_2$ ह्या उच्च अंतिम तापाचे वाचन घेतात शेवटी, उपमानात ओतलेल्या ऊष्ण पाण्याच्या $पु_2$ पुंजाचे निश्चयन करतात उपमानाच्या ज जलसमाहेंचे गणन पुढील समीकाराने करता येत

$$पु_2 \; (त - त_2) = पु_1 \; (त_2 - त_1) + ज \; (त_2 - त_1)$$

उपमानातील थंड पाणी आणि मागाहून त्यात ओतलेले उष्ण पाणी याचे पुंज अनुक्रमे $पु_1$ आणि $पु_2$ हे तुलेने निश्चित करतात-

वरील समीकाराच्या साहाय्याने उपमानाच्या ज जलसमार्हेचे गणन करता येते परिशुद्ध अभ्यासात जलसमार्हेचे निश्चयन सपरीक्षेवरूनच करतात, तथापि सामान्यत उपमानाच्या जलसमार्हेची (पु × ऊ) ही गणन केलेली अर्हा इतर गणनात योजण्याचा प्रघात आहे

वातींचा आपेक्षिक ऊष्मा

वातीचे तापवर्धन दोन भिन्न स्थितीत होऊ शकते हे आपण प्रकरण ९ मध्ये पाहिलेच आहे वातीची परिमा स्थिर ठेवून वातीचा ताप वाढविण्यास अवश्य असणाऱ्या आपेक्षिक उष्म्यास 'वातीचा स्थिर परिमेवरील आपेक्षिक ऊष्मा' ($ऊ_प$) असे म्हणतात तसेच वातीचा निपीड स्थिर ठेवून वातीचा ताप वाढविण्यास आवश्यक असणाऱ्या आपेक्षिक ऊष्म्यास 'वातीचा स्थिर निपीडावरील आपेक्षिक उष्मा' ($ऊ_न$) अशी संज्ञा आहे वातीच्या या दोन्ही आपेक्षिक उष्म्याच्या अभ्यासावरून असे दिसून आले आहे की, $ऊ_न$ ची अर्हा $ऊ_प$ च्या अर्हेपेक्षा जास्त असते वरील दोन भिन्न स्थितीतील वातीचा आपेक्षिक ऊष्मा भिन्न असण्याचे स्पष्टीकरण पुढील प्रकरणात योग्य स्थळी केले आहे वातीच्या निपीडावरील आपेक्षिक ऊष्म्याच्या निश्चयनासंबंधी विवेचन पुढे दिले आहे

स्थिर निपीडावरील वातीच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे निश्चयन

स्थिर निपीडावरील वातीच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे ($ऊ_न$) निश्चयन रेनो (Regnault) या फ्रेंच शास्त्रज्ञाने केले या निश्चयनात योजलेल्या साधित्राचे रेखाचित्र आकृति १०-२ मध्ये दाखविले आहे व या वाति-आशयात (reservoir) परीक्ष्य वाति भरलेला असून त्याचे निपीड बरेच जास्त असते वाति-

आणि वातीचा आपेक्षिक ऊष्मा $ऊ_न$ ने दर्शविल्यास सपरीक्षेतील मापलेल्या राशींच्या अहीं पुढील समीकारात आदिष्ट करून $ऊ_न$ चे गणन करता येते.

$$पु \times ऊ_न \times \left(त - \frac{त_1 + त_2}{2} \right) = ज \times (त_2 - त_1) + क्ष$$

वरील समीकारात उपमानातील पाणी आणि उपमानाचा जलसमाई या दोहोंचा समावेश ज या राशीत केला आहे

सपरीक्षेतील उपमानाचा ताप सामान्यत. सभोवारच्या तापापेक्षा जास्त असतो, म्हणून उपमानाच्या बाह्यपृष्ठभागावरून विकिरणामुळे झालेली उष्माहानि क्ष या राशीने दर्शविली आहे. या उष्माहानीचे योग्य सपरीक्षेने निरसन (elimination) करता येते

सपरीक्षेच्या प्रारंभी स चे निपीडवाचन घेऊन समीकार स १०–२ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे क मधील वाति–पुजाचे गणन करतात तसेच सपरीक्षेच्या शेवटी स च्या वाचनावरून क मधील उरलेल्या वातीच्या पुजाचे गणन करतात वरील दोन पुजातील भेदाइतका पुंज असलेला वाति च कुतल्नलिकेतून येऊन उपमानातील ठ कुतल्नलिकेतून बाहेर गेला.

परमाण्विक ऊष्मा नियम

(Dulong and Petit's law of atomic heats)

मूलतत्त्वाचा आपेक्षिक उष्मा ऊ आणि त्या तत्त्वाचा परमाणुभार (atomic weight) प याच्या गुणाकारास 'परमाण्विक उष्मा' ही संज्ञा देता येईल

ड्यूलाँग आणि पेटि या शास्त्रज्ञानी मूळद्रव्यांसबंधी आपेक्षिक ऊष्मा आणि परमाणुभार यांच्या ज्ञात असलेल्या अंकांचा गुणाकार करून परमाण्विक ऊष्म्याचे गणन केले. अशा गणनावरून परमाण्विक ऊष्म्यासंबंधी या शास्त्रज्ञानी असा निष्कर्ष काढला की, निरनिराळ्या मूलतत्त्वांच्या परमाण्विक ऊष्म्याची अंकी ६.४ इतकी असते. ड्यूलाँग आणि पेटि यांचा वरील नियम स्थूलमानाने सत्य आहे असे परिशुद्ध सपरीक्षावरून दिसून येते. कारण काही मूलतत्त्वांच्या आपेक्षिक ऊष्म्याची अंकी तापमानावर अवलंबून असते. त्याचप्रमाणे मूलतत्त्वांची अपरावर्तिक रूपें (allotropic forms) असल्यास या भिन्न रूपांचा आपेक्षिक ऊष्माहि भिन्न असतो. उदाहरणार्थ कोळशाचा आपेक्षिक ऊष्मा ०.२४२, हिऱ्याचा ०.१४७ आणि शिसादमाचा (graphite) ०.२०२ आहे. पुढील उदाहरणावरून परमाण्विक भार–निश्चयनात ड्यूलाँग आणि पेटि यांच्या परमाण्विक ऊष्मा–नियमाचा उपयोग कसा करतात हे लक्षात येईल.

उदाहरण —एका मूलतत्त्वाचा आपेक्षिक ऊष्मा ०.२५ असून त्याचा समसयुज भार (equivalent weight) १२.१ असल्यास त्या मूलतत्त्वाचा परमाण्विक भार गणन करा.

ड्यूलाँग आणि पेटि यांच्या नियमाप्रमाणे,

$$\text{परमाण्विक भार} \times \text{आपेक्षिक ऊष्मा} = ६.४$$

$$\therefore \text{परमाण्विक भार} = \frac{६.४}{\text{आपेक्षिक ऊष्मा}} = \frac{६.४}{०.२५} = २५.६$$

ड्यूलाँग आणि पेटि यांचा नियम स्थूलमानाने सत्य असल्याने, वर गणन केलेला २५.६ हा परमाण्विक भार तितकासा परिशुद्ध नाही. त्यापेक्षा समसयुज भाराचे निश्चयन जास्त परिशुद्ध असल्याने, २५.६

ना सर्वांत जवळ असणारा समसयुज भाराचा अपवर्य (multiple) १२१ × २ = २४२ हा त्या मूलतत्त्वाचा परिशुद्ध परमाण्विक भार होय

प्रश्न

(१) एका ताम्र उपमानाचा पुंज १८० धान्य असून, त्यातील पाण्याचा पुंज ७४० धान्य आहे पाण्याचा ताप ३०° श आहे या उपमानात १८० धान्य पुंजाचा तप्त लोखंडी तुकडा बुडविला लोखंडाचा प्रारंभिक ताप १००° श. असून उपमानातील पाण्याचा अन्तिम ताप ३३५° श असल्यास लोखंडाच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे गणन करा (ताम्राचा आपेक्षिक ऊष्मा ० १ आहे)

(२) एका ताम्याच्या उपमानाचा पुंज ५० धान्य असून त्यात ३०० धान्य पाणी आहे त्या पाण्याचा ताप २०° श आहे या पाण्यात तांबें आणि लोखंड यांच्या मिश्रणाचा गोळा टाकला ह्या गोळयाचा पुंज १०० धान्य असून उपमानात टाकण्यापूर्वी या गोळ्याचा ताप १२५° श होता गोळा पाण्यात टाकल्यानंतर उपमानाचा अन्तिम उच्च ताप २५° श झाल्यास, गोळ्यातील तांबें आणि लोखंड यांचे परस्पर प्रमाण काय असावे ? (तांबें आणि लोखंड यांचा आपेक्षिक ऊष्मा अनुक्रमें ० १ आणि ० २ आहे)

(३) क, ख आणि ग या तीन तरलांचा ताप अनुक्रमें ३०° श, २०° श आणि १०° श आहे क आणि ख यांच्या समपुंजाच्या मिश्रणाचा परिणामी ताप २६° श आहे क आणि ग यांच्या समपुंजाच्या मिश्रणाचा परिणामी ताप २५° श होत असल्यास, ख आणि ग यांच्या समपुंजाच्या मिश्रणाचा परिणामी ताप किती असावा होईल ? तसेच या तिन्हीही तरलांच्या समपुंजाच्या मिश्रणाचा परिणामी ताप किती होईल ?

(४) वातीच्या अचल निपीडावरील आपेक्षिक ऊष्म्याचे निश्चयन कसे करतात हे स्पष्ट करा.

(५) उष्णमानाच्या जलसमाहेची कल्पना विशद करा. वस्तूच्या तापीय धारितेचे गणन कसे करतात हें स्पष्ट करा.

(६) एका उष्णमानांत पाणी असून त्या पाण्याचा ताप २५° श. आहे. या उष्णमानात एक तप्त धातूचा तुकडा आणि काही शीत पाणी टाकले असता त्या उष्णमानातील पाण्याचा ताप २५° श. वर स्थिर असतो. तप्त धातूच्या तुकड्याचा ताप ९८° श. असून त्याचा पुंज २१ धान्य आहे. उष्णमानात टाकलेल्या शीत पाण्याचा पुंज ११·१ धान्य असून या शीत पाण्याचा ताप ७° श. आहे. यावरून धातूच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे गणन करा.

★ ★ ★ ★

प्रकरण ११

अवस्था–परिवर्तन

द्रावांक

सान्द्र वस्तूचा ताप वाढवीत गेल्यास, विशिष्ट ताप झाल्यावर जास्त उष्मा मिळाल्याने, त्या सान्द्राचे तरल–अवस्थेत रुपान्तर होते. हा विशिष्ट ताप त्या सान्द्राच्या द्रव्यावर अवलबून आहे. उदाहरणार्थ हिमाचे ०° या तापावर पाणी होते; मेण ५०° या तापावर वितळते. ह्या विशिष्ट तापास त्या सान्द्र द्रव्याचा 'द्रावांक' (melting point) अशी सज्ञा आहे अनेक द्रव्यांच्या द्रवणाच्या (melting) अभ्यासावरून काढलेले निष्कर्ष पुढील सामान्य नियमात दर्शविले आहेत

(१) निपीड स्थिर असल्यास एका विशिष्ट तापावर वस्तूस उष्मा दिल्यास त्या वस्तूचे सान्द्रस्थितीतून तरलस्थितीत परिवर्तन होते त्याच स्थिर निपीडावर या तरलातील उष्मा न्यून केल्यास तरलाचे (solidification) सान्द्रीभवन त्याच विशिष्ट तापावर होते. या विशिष्ट तापास 'द्रावांक' ही सज्ञा असून, त्याची अर्हा वस्तूच्या द्रव्यावर अवलबून असते

(२) वस्तूवरील निपीड-परिवर्तनाने द्रावांकातहि थोडे परिवर्तन होते

(३) सान्द्राचे द्रवण होताना सामान्यत सान्द्र आणि तरल यांच्या परिमा भिन्न असतात

लोखड, काच इत्यादीच्या सान्द्र वस्तू तापविल्यास त्याच

सान्द्रावस्थेंतून तरल स्थितीत हळूहळू परिवर्तन होतें वरील वस्तू–द्रव्याचा ताप वाढवल्यास त्या वस्तू प्रथम मृदु होऊं लागतात त्यानंतर ताप वाढविल्यास त्याचे रूपान्तर बरेच आलगत्व असलेल्या तरलात होतें, आणि हे अवस्था–परिवर्तन काही विशिष्ट तापाच्या मर्यादेंत होतें यामुळे लोखड, काच या सारख्या द्रव्याचा एक विशिष्ट द्रावाक आहे असें म्हणता येत नाही लोखड आणि काच या सारख्या सान्द्र द्रव्याची द्रवणपूर्व मृदु स्थितीहि महत्वाची आहे. मृदु अवस्थेंतील लोखडास योग्य आकार देऊन त्यापासून यन्त्राचे भाग आणि व्यवहारातील इतर उपयोगी वस्तू करणें शक्य असतें मृदु स्थितीतील काचेपासून काचेची पात्रें आणि काचेची उपकरणें करता येतात.

बुद्बुदांक (boiling point)

तरलाचा काही विशिष्ट ताप झाल्यानंतर त्या तरलास जास्त ऊष्मा मिळाल्यास तरलाच्या सर्व भागातून त्याच्या बाष्पाचे (vapour) बुडबुडे निघू लागतात आणि तरल उकळण्यास प्रारम्भ होतो तरलाचें अशा रीतीनें बाष्पात रूपान्तर होण्याच्या घटनेस 'बद्बुद बाष्पन' (vapourisation by boiling) असे म्हणतात. या बाष्पनाचे नियम पुढीलप्रमाणे आहेत

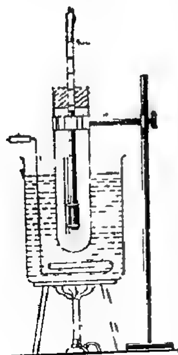
(१) निपीड स्थिर असल्यास तरलद्रव्याचें बाष्पन एका विशिष्ट तापावर होतें या तापास तरलाचा त्या निपीडावरील 'बुद्बुदांक' ही संज्ञा आहे. बुद्बुदांकाची अर्हा तरलाच्या द्रव्यावर अवलम्बून असते

(२) तरलावरील निपीड वाढल्यास, तरलाचा बुद्बुदांक वाढतो आणि निपीड न्यून केल्यास, बुद्बुदांक न्यून होतो. [ऋजु

निपीडावरील बुद्बुदांकास 'ऋजु बुद्बुदांक' (normal boiling point) अशी संज्ञा आहे. पाण्याचा ऋजु बुद्बुदांक १००° श आहे

(३) तरलापासून अवस्थान्तराने झालेल्या बाष्पाची परिमा तरलाच्या परिमेपेक्षा बरीच जास्त असते.

(४) तरलाचे बाष्पन होत असता तरलास ऊष्मा द्यावा लागून, संपूर्ण तरलाचे बाष्पन होईपर्यंत तरल आणि बाष्पाचा ताप एकच असून तो स्थिर असतो



आ ११–१

द्रावांकाचे निश्चयन

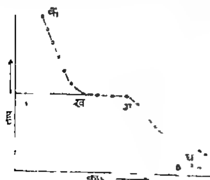
पारद तापमानाच्या तापमर्यादेतील द्रावांकाचे निश्चयन पुढीलप्रमाणे करतात परीक्ष्य सान्द्रद्रव्य वितळवून, त्यापासून झालेले तरल लहान केशालनळीत भरतात. यानंतर, नळीतील संपूर्ण तरलाचे सान्द्रात रूपान्तर होईतोपर्यंत ती नळी थंड करतात नंतर, ही केशालनळी एका पारद तापमानाला कन्दासमीप बांधून पारदतापमान एका रुंद परीक्षण नळीत ठेवतात (आकृति ११–१ पाहा) या परीक्षण नळीचा ताप ज्योतीने वाढविल्यास, नळीतील ऊष्ण वायूने केशालनळीतील सान्द्र वितळू लागतो सान्द्र वितळू लागताच तापमानाचे वाचन टिपतात त्या-

नंतर ज्योत एकीकडे सारून, केशालनळीचा ताप न्यून होऊं देतात. असे होताना तरलाचे सान्द्रीभवन होऊं लागताच तापमानाचे दुसरे वाचन घेतात. अशा रीतीने, केशालनळी आळीपाळीने तापवून आणि शीत करून द्रावांकाची अनेक वाचने घेऊन या वाचनांची माध्य अर्हा गणन करतात.

धातु-द्रव्याचा द्रावांक

धातुद्रव्याचा द्रावांक पुढील प्रमाणे निश्चित करतात.

तरलस्थितीतील धातुद्रव्यात रोधतापमान (resistance thermometer) अथवा तापमिथुन (thermo-couple) योग्य रीतीने ठेवून, तरल शीत होताना एका कलेच्या (minute) कालान्तराने या तरलाच्या तापाची वाचने घेतात. या तरलाचा ताप द्रावांकाइतका झाल्यावर काही काळपर्यंत तरलाचा ताप स्थिर असतो. याचे कारण असे की, सान्द्राचे तरल होताना सान्द्राला ऊष्मा पुरवावा लागतो आणि तरलाचा सान्द्र होताना हाच ऊष्मा तरलातून निस्सारित (extracted) व्हावा लागतो. हा ऊष्मा निस्सारित होईपर्यंत तरलाचा ताप स्थिर असतो. संपूर्ण तरलाचे सान्द्र स्थितीत परिवर्तन झाल्यावर, तापमानाच्या वाचनावरून ताप न्यून होत असल्याचे दिसून येते. अशी तापवाचने आणि कालावधि यांचा आकृति ११-२ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे कखगघ बिन्दुरेख



आ. ११-२

मानतात. तरलाचे सान्द्र स्थितीत रूपान्तर होताना, ग आणि ग याच्या कालावधीतील स्थिर ताप हा त्या धातुद्रव्याचा द्रावाव होय असे या निन्दुरेषेवरून लक्षात येईल.

तरलातील विलेय अणूंचा उकळण्याच्या तापावर वराव परिणाम होतो. तथापि, या तरलापासून झालेल्या वाफेचा ताप आणि शुद्ध तरलाचा बुद्बुदाव हे समान असल्याकारणाने, बुद्बुदावाच्या निश्चयनाकरतो तापमान उकळत्या तरलाच्या बाष्पात ठेवतात. बुद्बुदावाचे वाचन घेताना, तरलावरील निपीडाचेंहि वाचन टिपणें आवश्यक असते. (तापमिती प्रकरण ६ वे पाहा)

सान्द्राचे तरल होताना परिमापरिवर्तन होते, हे वर सांगितलेच आहे या परिमापरिवर्तनाचाहि व्यवहारात उपयोग होतो उदाहरणार्थ, मुद्रणालयातील मुद्रावे ठसे करण्यात जो मिश्रधातु उपयोगात आणतात, त्याच्या तरलाचे सान्द्रीभवन होताना परिमा वाढते ह्यामुळे, साच्यातील सर्व भागात धातु पसरतो आणि त्यायोगे साच्यातील सर्व सूक्ष्मता ठशात तंतोतंत उतरते.

निपीडपरिवर्तनाचा द्रावांकावर होणारा परिणाम

सान्द्रावरील निपीडपरिवर्तनाने त्या सान्द्राच्या द्रावाकाचे परिवर्तन होते, इत्यादि घटना यापूर्वी सांगितल्या आहेत या परिवर्तनाच्या जास्त अभ्यासावरून असे दिसून आले आहे की, काही सान्द्राचा द्रावाक निपीडवर्धनाने न्यून होतो, आणि याच्या उलट, निपीडवर्धनाने इतर कित्येक सान्द्राचा द्रावाक वाढतो. या घटनाची कारणे पुढीलप्रमाणे देता येतील निपीडवर्धनाने वस्तूची परिमा न्यून होण्याची शक्यता असते आणि सान्द्राचे तरलन होत असताना परिमा न्यून होत असल्यास, न्यून परिमा होणाऱ्या द्रवणास निपीडवर्धनाचे साहाय्य होण्याचा संभव असतो अर्थात् निपीड-

वर्धनाने ऋजुनिपीडावरील द्रावाकापेक्षा न्यून असलेल्या तापावर सान्द्र द्रवित व्हावा असे अनुमान करता येईल ०° श ताप असलेल्या हिमाचे पाणी होताना, परिमा न्यून होते हिमावरील निपीड वाढविल्याने त्याचा द्रावाक ०° श तापापेक्षा न्यून होतो, ही घटना वरील विवेचनावरून स्पष्ट होते

सान्द्राचे तरल्न होताना परिमा वाढत असल्यास, निपीड-वर्धनाने परिमावर्धनाला विरोध होतो म्हणून परिमावर्धन होणाऱ्या द्रवणाला निपीडाचा विरोध होईल या स्थितीत ऋजु-निपीडावरील द्रावाकापेक्षा थोडया जास्त तापावर त्या सान्द्राचे द्रवण व्हावे असे अनुमान करता येईल द्रवीभूत होताना परिमा जास्त होणाऱ्या मेणासारख्या सान्द्राचे निपीडवर्धनामुळे ऋजुनिपीड द्रावाकापेक्षा थोडया जास्त तापावर द्रवण होते या घटनानी द्रावाकाच्या परिवर्तनासबधीच्या वरील अनुमानाना पुष्टी मिळते

निपीड वर्धनाने हिमाचा द्रावाक थोडा न्यून होतो, हे माहीत असल्यास पुढे दिलेल्या घटनाचे स्पष्टीकरण सुलभ होते

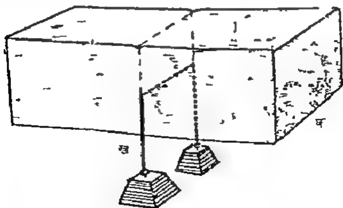
पुनःश्यान (regelation)

हिमाचे दोन गोळे एकमेकांवर दाबून नतर त्यावरील दाब काढून घेतल्यास, त्या दोन गोळयाचा एकच गोळा होतो. याचे कारण, निपीडामुळे हिमाचा द्रावाक ०° श पेक्षा न्यून होतो, म्हणून निपीडाखालील हिम ०° श तापावर सान्द्र स्थितीत राहू शकत नसल्याने दोन गोळयामधील सस्पर्शित भागात हिमाचे तरल्न होते ह्या तरल्नास आवश्यक असणारी ऊष्मा हिमातूनच मिळाल्याने या हिमाचा आणि त्यापासून झालेल्या पाण्याचा ताप ०° श पेक्षा थोडा न्यून होतो हिमावरील दाब

काढून घेताच ०° श. पेक्षा न्यून ताप असलेल्या पाण्याचें तात्काळ हिमांत रूपान्तर होऊन, हिमाचे दोन गोळे एकत्र सांधले जातात. वरील घटनेस 'पुनःस्थान' (regelation) ही संज्ञा आहे. हिमाचा ताप ०° श. पेक्षा बराच न्यून असल्यास आपल्या हाताच्या दाबानें हिमाच्या तापापेक्षा द्रावांक आणखी न्यून करणें शक्य नसतें; म्हणून ०° श. पेक्षा न्यून ताप असलेल्या हिमाच्या गोळ्याचा हातांत दाबून एक गोळा करणें अशक्य असतें.

हिमावरून लोखंडी जोडे घालून घसरत (skating) जाण्याच्या घटनेचें स्पष्टीकरण पुढील प्रमाणे आहे. लोखंडी जोड्या-खालील हिम निपीड वर्धनामुळे वितळून हिम आणि जोड्याचा तळ यामध्ये हिमापासून झालेल्या पाण्याचा पातळ थर येऊन जोड्या-खालील संघर्ष-बल बरेंच अल्प होतें. अर्थातच, जोडा घालणारा अल्प प्रयासाने हिमावरून बऱ्याच लांबवर घसरत जाऊ शकतो.

हिमाच्या पुनःस्थाना संबंधी टिंडाल (Tyndall) या शास्त्रज्ञानें पुढील प्रयोग योजला. व या बऱ्याच मोठ्या हिमखण्डाभोंवती



आ ११-२

त्र ही ताम्ब्याची तार गुंडाळून, त्या तारेच्या टोकास वजनास भारांचे भान्ड अडकवून ते लोंबकळत ठेवतात (आकृति ११-३ पाहा). या स्थितीत तार खालील हिमावर निपीड वाढल्याने त्याचे पाणी होऊन तार हळूहळू हिमखण्डात शिरते आणि शेवटी हिमखण्डाच्या खालील भागातून बाहेर पडते; परन्तु हिमखण्डाचे दोन तुकडे मात्र होत नाहीत याचे कारण हे आहे की तार जसजशी हिमात जाईल तसतसे तीवरील पाण्याचे हिम होऊन हिमखण्ड पूर्वीसारखाच सलग राहतो. ताम्ब्याची तार न वापरता लोखंडाची तार घेतल्यास ती हिमातून जाण्यास जरा जास्त अवधि लागतो याचे कारण असे आहे की, तारेखालील निकटवर्ती हिमाचे निपीडवर्धनाने झालेले पाणी ०°श तापापेक्षा न्यून तापावर असते ह्या पाण्यातून तार खाली गेल्यावर निपीड अल्प झालेल्या पाण्याचे पुन हिम होताना तारेवरील पाण्यापासून द्रवणाचा गुप्त उष्मा जास्त उष्मासवाही ताम्ब्यातून तारे खालील हिमास मिळून ते त्वकर वितळते म्हणून ताम्ब्याची तार शीघ्रतेने हिमातून जाते.

गुप्त ऊष्मा (latent heat)

सान्द्राचे द्रवण होताना त्यास उष्मा मिळत असूनहि, सान्द्राचा ताप वाढत नाही हा अनुभव द्रवणासबधीच्या चवथ्या नियमात अतर्भूत झाला आहे. एका पात्रात थोडे शीत पाणी आणि दुसऱ्यात थोडे हिम टाकून, दोन्ही पात्रे सारख्याच प्रमाणात ज्योतीने तापविल्यास, पाण्याचा ताप वाढलेला दिसतो तथापि, हिमाचे पूर्ण पाणी होईपर्यंत ज्योतीपासून ऊष्मा मिळत असूनहि, हिमाचा आणि त्यापासून झालेल्या पाण्याचा ताप वाढत नाही सर्व हिमाचे पाणी झाल्यावरच ताप वाढू लागतो यावरून असे अनुमान करता येईल की, हिमाचे पाण्यात रूपान्तर होण्यास काही विशिष्ट ऊष्म्याची आवश्यकता असते, मात्र या ऊष्म्याने हिमाचा ताप वाढत नाही, म्हणून या ऊष्माराशीस 'हिमाच्या द्रवणास लागणारा गुप्त ऊष्मा' (latent heat of fusion of ice) असे म्हणता येईल

हिमाप्रमाणे इतर सान्द्राचे तरलावस्थेंत परिवर्तन होताना त्यास गुप्त ऊष्मा द्यावा लागतो.

पाणी एकदा उकळू लागल्यावर ज्योतीपासून ऊष्मा मिळत असूनहि, पाण्याचा ताप बुदबुदांकापेक्षा जास्त वाढत नाही यावरून, तरलाच्या बाष्पनास काही ऊष्म्याची आवश्यकता असते हें स्पष्ट आहे. या उष्मारासीस, तरलाच्या 'बाष्पनास लागणारा गुप्त ऊष्मा' (latent heat of vapourisation) असे म्हणता येईल. वरील दोन्ही गुप्त ऊष्माराशींच्या परिभाषा पुढील प्रमाणें आहेत.

द्रवणाचा गुप्त ऊष्मा (Latent heat of fusion)

तापात परिवर्तन न होता, १ धान्य सान्द्राचे द्रवण होण्यास आवश्यक असणाऱ्या ऊष्माराशीस, 'द्रवणाचा गुप्त ऊष्मा' अशी संज्ञा आहे ह्या ऊष्मारासीने सान्द्राचा ताप न वाढता, त्याचें तरलावस्थेंत परिवर्तन होते एक धान्य तरलाचे सान्द्रीभवन होताना द्रवणाच्या गुप्त ऊष्मारासि इतक्याच ऊष्माराशीची त्या तरलातून हानि व्हावी लागते हिमाचा गुप्त ऊष्मा ८० उष असल्याने १०० धान्य पाण्याचे हिमांत परिवर्तन झाल्यास १०० × ८० = ८००० उष ऊष्मा पाण्यापासून निस्सारित होईल

बाष्पनाचा गुप्त ऊष्मा (latent heat of vapourisation)

तापात परिवर्तन न होता, एक धान्य तरलाचे बाष्पन होण्यास अवश्य असणाऱ्या ऊष्मारासीस, 'बाष्पनाचा गुप्त ऊष्मा' ही संज्ञा आहे एक धान्य बाष्पाचे तरलन होताना त्या बाष्पातील इतक्याच ऊष्माराशीची हानि व्हावी लागते पाण्याच्या बाष्पनाचा गुप्त ऊष्मा ५३६ उष आहे

द्रवणाच्या गुप्त ऊष्म्याचें निश्चयन

हिम द्रवणाच्या गुप्त ऊष्म्याचे निश्चयन करणें बरच सुलभ

आहे प्रथम उपमानाचा पुंज तुलेच्या साहाय्याने निश्चित करतात. उपमानात (त) कोष्ठताप असलेले पाणी घेऊन, त्याचा पु पुंज निश्चित करतात. या पाण्यात थोडे कोरडे हिमखण्ड टाकून हे मिश्रण ढवळून, सर्व हिमखण्ड वितळल्यावर लगेच ह्या मिश्रणाच्या अन्तिम नीच तापाचे वाचन ($त_1$) टिपतात. यानतर, हिमखण्डापासून झालेल्या पाण्याचा (पु') पुंज निश्चित करतात •

उपमान आणि त्यातील पाणी शीत होताना त्याच्यापासून मिळालेला उष्मा	=	हिमाच्या द्रवणास लागलेला गुप्त उष्मा + हिमापासून झालेल्या पाण्याचा ताप ०° श. पासून $त_1$° श पर्यंत वाढण्यास लागलेला उष्मा

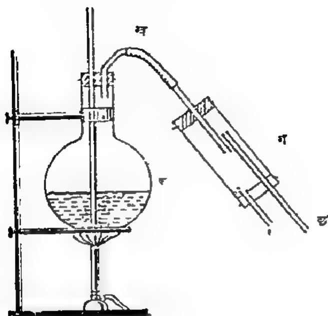
$$\therefore \quad पु\ (त - त_1) + ज\ (त - त_1) = पु'\ ग + पु'\ (त_1 - 0)$$

या समीकारात ज हा उपमानाचा जलसमाई असून ग हा हिमाच्या द्रवणाचा गुप्त उष्मा आहे या समीकाराच्या साहाय्याने साद्राच्या द्रवणाला अवश्य असणाऱ्या गुप्त उष्म्याचे गणन करता येत

प्रबाष्पाच्या गुप्त उष्म्याचे निश्चयन

उपमानातील पाण्याचा पुंज पु निश्चित करून या पाण्याच्या $त_1$ तापाचे वाचन घेताना आकृति ११-४ मध्ये दाखविलेल्या क बाष्पित्रातील पाण्यापासून झालेला प्रबाष्प ख नळीतून जाताना, त्या प्रबाष्पापैकी काहीच पाणी झाल्यास, ते पाणी ग रुंद नळीच्या तळाशी पडते आणि छ मार्गे केवळ कोरडा प्रबाष्पच बाहेर पडता

छ नळीचे टोक उपमानाच्या पाण्यात बुडवून अवश्य तितका कोरडा प्रबाष्प पाण्यात सोडता येतो. ख, ग आणि छ या नळ्यांच्या



आ ११–४

जळणीला 'प्रवाष्प-पंजर' (steam trap) असे म्हणतात. वाष्पित्रातील प्रवाष्प बाहेर आणणाऱ्या नळीला वाहेरुन कापूस, लोकर इत्यादि गुंडाळतात. तसेच, ही नळी आकृति ११–४ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे वाष्पित्राकडे उतरती ठेवतात. या योगाने, ख पर्यंत पोचण्यापूर्वी काही प्रवाष्पाचे तरल झाल्यास, ते तरल परत वाष्पित्रातच प्रवाहित होते, आणि ख कडे कोरडा प्रवाष्प प्रवाहित होतो.

छ नळीचे टोक उपमानातील पाण्यात ठेवून, पाण्याचा ($त_1$)

कोष्ठताप १०° ते १२° वाढल्यावर, उपमान एकीकडे काढून घेतात. नतर त्यातील पाण्याच्या अंतिम उच्च स्थिर तापाचे ($त_2$) वाचन नोंदतात. यानंतर, उपमानाचा भार पुन निश्चित करून, त्यातील प्रवाष्पाच्या तरलनाने जास्त आलेल्या पाण्याचा पुंज निश्चित करतात. पुढील समीकाराच्या साहाय्याने, प्रवाष्पाच्या (गा) गुप्त ऊष्म्याचे गणन करता येते

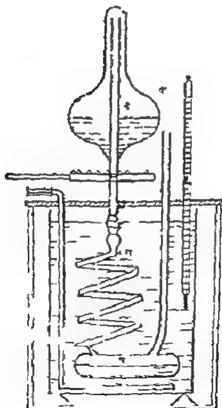
$$पु \ (त_2 - त_1) + ज \ (त_2 - त_1) = पु_1 . गा + पु_1 \ (त - त_2)$$

वरील समीकरारात $पु_1$ हा तरलन झालेल्या प्रवाष्पाचा पुंज असून, त्याचे तरलन त तापावर होते असे मानले आहे त हा पाण्याचा वायुमण्डलीय निपीडावरील बुद्बुदांक असून या बुद्बुदांकाचे गणन वापीडमानाच्या वाचनावरून करता येते.

बाष्पनाच्या गुप्त ऊष्म्याच्या निश्चयनाची परिशुद्ध रीति पुढीलप्रमाणे आहे.

आकृति ११–५ मध्ये दर्शविलेल्या क या बाष्पित्रात परीक्ष्य तरलाचे बाष्पन करतात. तरलाचे बाष्प ख नळीमार्गे ग कुतलाकार नळीतून जाताना, त्या बाष्पाचे तरलन होऊन, त्या तरलनाचा गुप्त ऊष्मा उपमानातील पाण्याला मिळतो प्रथम उपमानातील पाण्याचा (पु) पुंज आणि त्याचा ($त_1$) ताप याची वाचने नोंदतात नतर क मधील तरलाचा बाष्प उपमानातील पाण्यातून थोडा वेळ जाऊ देऊन, ख नळीपासून ग नळी वेगळी करतात, आणि उपमानातील पाण्याच्या ($त_2$) अन्तिम उच्च स्थिर तापाचे वाचन नोंदतात कुतलाकार नळीच्या शेवटी असलेल्या प या रद भागात प्रवाहित होणाऱ्या बाष्पापासून आलेले तरल साचते. ग नळी रिक्त असतानाचा भार, आणि त्यात तरल साचलेले असतानाचा भार

निश्चित करून या भार ताकडीच्या भेदावरून साचलेल्या तरलाचा पु, पुंज गणन करतात. तरलाच्या वाफेचा गुप्त ऊष्मा आणि तरलाचा आपेक्षिक ऊष्मा अनुक्रमे गा आणि ऊ, ने दर्शविल्यास,



आ ११-५

$$पु\ (त_2 - त_1) + ज\ (त_2 - त_1) = पु_2 .\ गा + पु_2\ ऊ_2\ (त - त_2')$$

ऊ₂ ची अहीं माहीत असल्यास, गा चे गणन करता येतें. न साधित्रात परीक्ष्य तरल म्हणून पाणी घेतल्यास, $ऊ_2 = १$ हे लक्षात येईल

या साधित्रात ख मधन वाष्प प्रवाहित होत असता, ख च्या मभोवार वाष्प आणि उत्कळणार तरल असल्यामुळे ख मधून जाणाऱ्या वाष्पांचे तरलन संभवत नाही या साधित्राच्या साहाय्याने पाण्याशी रसायनिक क्रिया होणाऱ्या तरलाच्या वाष्पनाचा गुप्त ऊष्मा निश्चित करणें शक्य होते कारण न मध्ये येणाऱ्या तरलाचा पाण्याशी स्पर्श होत नाही हे साधित्र प्रथम बर्थोले (Berthelot) या शास्त्रज्ञानें योजले

अधिशीतन (super cooling)

पाण्याचा ताप न्यून केल्यास ०° श. तापावर पाण्याचे हिमात रूपान्तर होते ही घटना सर्वांस माहीतच आहे पाण्याचा ताप ०° श पेक्षा न्यून असला तरीसुद्धा ते तरलावस्थेंतच राहू शकते हे पुढील सपरीक्षेवरून दिसून येईल

शुद्ध पाणी उकळून त्यातील सर्व विलीन वायु बाहेर पडू द्यावा या पाण्यावर तेलाचा पातळ थर ठेवून पाण्याचा ताप न्यून केल्यास, पाण्याचे ०° श तापावर हिमात रूपान्तर न होता-१२°श तापापर्यंत पाणी तरलावस्थेंतच राहू शकते श्यानतापेक्षा (freezing point) न्यून ताप असूनहि तरलाचे सान्द्रीभवन न होता, त्याची तरलावस्था अपरिवर्तित असू शकते या घटनेला 'अधि शीतन' म्हणतात

तरलाचे सान्द्रीभवन होताना त्यात स्फट (crystals)

निर्माण होत असल्यास, अशा तरलाचे अधिशीतन करणें बरेच सुलभ असतें. मात्र अधिशीतन अवस्थेंतील हे तरल अस्थिरस्थितींत (unstable state) असतें. अधिशीत तरलांत त्याच द्रव्याचा लहानसा स्फट टाकल्यास, अथवा हे अधिशीत तरल जोराने हल विल्यास, अशा तरलाचें सान्द्रीभवन अतिशीघ्रतेने होतें; आणि असे होतांना तरलाचा न्यून ताप ऋजुद्रावांकापर्यंत वाढतो याचें कारण असें आहे की, सान्द्रावस्थेंत रूपान्तर होतांना तरलाने बाहेर टाकलेल्या गुप्त ऊष्म्यापैकी बरीच उष्णता अधिशीत स्थितींतील तरलाचा ताप ऋजुद्रावांकाकडे वाढत जातो. क्षार सुलिवन (photographer's hypo) स्फटाचे चूर्ण घेऊन तें चूर्ण तापविल्यास ४८° श. तापावर स्फट चूर्णांत त्याच्या स्फटजलांत (water of crystallisation) तरलन होते. या विलयनाचा ताप हळूहळू न्यून केल्यास, ३०° श. तापापर्यंत हें विलयन तरल स्थितींत राहू शकते. विलयनाच्या या अधिशीतन अवस्थेंत त्यांत क्षारसुलिवताचा लहान स्फट टाकल्या-बरोबर या विलयनांत अतिशीघ्रतेने सान्द्रीभवन होऊन त्याचा ताप ४८° श. पर्यंत वाढतो.

अधितापन (super heating)

शुद्ध तरलातील सर्व विलीन वायु उकळण्याने बाहेर घालवून दिल्यास, ह्या तरलाचा ताप ऋजुबुद्बुदांकापेक्षा जास्त करूनहि, त्याची तरलावस्था अपरिवर्तित ठेवता येते. या घटनेस 'अधितापन' म्हणतात. विलीन वायुरहित पाणी हळूहळू तापवून, त्याचा ताप १००° श. पेक्षा बराच वर वाढविता येतो. मात्र या अधितप्त पाण्याच्या पात्रास किंचितहि धक्का लागल्यास, त्यांतील पाण्याचा उत्स्फोट (explosion) होऊन बऱ्याच पाण्याचें अति शीघ्रतेने बाष्प होतें. या उत्स्फोटक्रियेस 'व्युद्बाष्पन' (bumping) म्हणतात. पाण्यांत काचेचे कण अथवा अविलेय रंध्रि (porous)

वस्तूचे वारीक तुकडे टाकल्यास, अधितापनामुळे पाण्यात व्युद् वाष्पन न होता उकळण्याची क्रिया सयपणे होते.

विलयन (solution) आणि श्यानमिश्र (freezing mixture)

सान्द्र वस्तूचे तरलात विलेयन होत असता सामान्यत या विलयनाचा ताप न्यून होतो याचे कारण, सान्द्र वस्तूचे विलयन-स्थितीत परिवर्तन होताना सान्द्राला काही ऊष्मा मिळणें अवश्य असते. या ऊष्म्याला 'विलयन स्थितीचा (गुप्त) ऊष्मा' (latent heat of solution) असे म्हणता येईल हा ऊष्मा विलेय वस्तूला विलायकापासून (solvent) मिळतो, म्हणून विलयनाच ताप न्यून होतो. क्षारक्षुल्विताचे स्फट पाण्यात विरघळवून, या विलयनाचा ताप कोष्ठतापापेक्षा बराच न्यून करता येतो.

श्यानमिश्राची प्रक्रियाहि विलयनाच्या वरील प्रक्रियेसारखीच आहे मीठ (क्षारातु नीरेय = sodium chloride) आणि हिम एकत्र मिसळल्यास या वस्तू परस्परात विरघळून, या मिश्रणाचा ताप ०°श. पेक्षा बराच न्यून होतो. १०० भाग हिम आणि ३३ भाग मीठ यांच्या मिश्रणाचा ताप –२०°श पर्यंत न्यून होऊ शकतो १०० भाग चूर्णातु नीरेय (calcium chloride) आणि ७० भाग हिम यांच्या मिश्रणाचा ताप –५५°श. असतो

बुन्सेनचें हिम उष्मान
(Bunsen's ice calorimeter)

हिमाच्या ०°श तापावरील द्रवणाच्या गुप्त ऊष्म्याची परिशुद्ध अर्हा माहीत असल्यास वस्तूच्या आपेक्षिक ऊष्म्याच निश्चयन पुढील-प्रमाणे करता येते

०°श ताप असलेले हिमखण्ड एका लहान पात्रात मग्न

हे पात्र दुसऱ्या मोठ्या पात्रातील हिमखण्डांत ठेवलें आहे अशी कल्पना करूं. नंतर लहान पात्रातील हिमखण्डांत त° ताप असलेली वस्तु टाकल्यास, वस्तूचा ताप त° पासून ०°श. पर्यंत न्यून होतो. असे होत असताना वस्तूतील ऊष्मा लहान पात्रातील हिमास मिळून, त्यातील कांही हिम वितळून त्याचे ०°श. तापावरील पाण्यात परिवर्तन होतें

तप्त मान्द्राचा ताप त°श. पासून ०°श. पर्यंत न्यून होताना त्यापासून मिळालेला ऊष्मा	=	कांही हिमाचे पाणी होताना त्यास अवश्य असणारा गुप्त ऊष्मा

$$\therefore \quad \text{पु. ऊ (त−०) = पु}_{१}\text{. गा}$$

वरील समीकारात वस्तूचा पुंज पु असून वितळलेल्या हिमाचा पुंज $पु_{१}$ ने दर्शविला आहे तसेच, ऊ हा वस्तु द्रव्याचा आपेक्षिक ऊष्मा असून, गा हा हिमाचा गुप्त ऊष्मा आहे. या रीतीत पात्राच्या जलसमाचा प्रश्न उद्भवतच नाही तसेच, लहान पात्र मोठ्या पात्रातील हिमात असल्यामुळे या उपमानातून इतर प्रकारे ऊष्माहानि होणे असंभवनीय असतें मात्र वितळलेल्या हिमाच्या पुंजाचे मापन परिशुद्धतेने करणें आवश्यक असते अशा परिशुद्धमापनाकरिता बुन्सेन ह्या शास्त्रज्ञानेपुढील रीति उपयोगात आणली

०° श ताप असलेल्या हिमाचे ०° श. ताप असलेल्या पाण्यात परिवर्तन होताना त्या पाण्याची परिमा द्रवद् हिमाच्या परिमेपेक्षा न्यून असते. दुसऱ्या शब्दात असे म्हणता येईल की, पाण्याचे मान्द्रीभवन होताना परिमेंत वर्धन होतें किंवा हिमाचे तरलन होताना परिमेंत न्यूनता येते १ पुंज हिमाचे पाणी होताना होणाऱ्या परिमाहानीचे पुढीलप्रमाणे गणन करता येतें.

०° श ताप असताना हिम आणि पाणी याची घनता अनुक्रमे $घ_{हि}$ आणि $घ_{पा}$ असल्यास १ धान्य हिम आणि १ धान्य पाणी याची परिमा अनुक्रमे $\frac{१}{घ_{हि}}$ आणि $\frac{१}{घ_{पा}}$ इतकी होईल हे लक्षात येईल. यावरून, १ धान्य हिमाचे पाणी झाल्यास होणारी परिमाहानि $\left(\frac{१}{घ_{हि}} - \frac{१}{घ_{पा}}\right)$ इतकी होईल. ही परिमाहानि होण्यास हिमाला ८० उप ऊष्मा मिळणें अवश्य आहे. हिमाच्या $पु_१$ पुजाचें ०° श. ताप असलेलें पाणी झाल्यास, $पु_१ \left(\frac{१}{घ_{हि}} - \frac{१}{घ_{पा}}\right)$ इतकी परिमाहानि होईल आणि ही परिमाहानि होण्यास ($पु_१ \times ८०$) उप गुप्त ऊष्मा पु पुजाच्या हिमास मिळणें आवश्यक आहे हे लक्षात येईल.

त ताप असलेली पु पुजाची तप्त वस्तु हिमात ठेवल्यास, त्या तप्त वस्तूपासून हिमास मिळणारा ऊष्मा (पु × ऊ × त) उप असतो या ऊष्म्याने काही हिम वितळते हिमाच्या वितळण्याने होणारी परिमाहानि प ने दर्शविल्यास,

वितळणाऱ्या हिमाचा पज, $पु_१ = \frac{प}{\left\{\frac{१}{घ_{हि}} - \frac{१}{घ_{पा}}\right\}}$

०° श. वरील द्रवद् हिमाचा गुप्त ऊष्मा ८० उप असल्याने, $पु_१$ हिमपुज वितळण्यासाठी लागलेला गुप्त ऊष्मा

$$\text{पु}_{\text{१}} \times \text{गा} = \frac{\text{प}}{\left\{\frac{\text{१}}{\text{घ}_{\text{हि}}} - \frac{\text{१}}{\text{घ}_{\text{पा}}}\right\}} \times \text{८०} \text{ उष होईल.}$$

तप्त वस्तूपासून मिळणारा उष्मा = हिमपुंज वितळण्यासाठी लागणारा गुप्त ऊष्मा

किंवा, $\text{पु} \times \text{ऊ} \times \text{त} = \text{पु}_{\text{१}} . \text{गा}$

$$\therefore \quad \text{पु} \times \text{ऊ} \times \text{त} = \frac{\text{प}}{\left\{\frac{\text{१}}{\text{घ}_{\text{हि}}} - \frac{\text{१}}{\text{घ}_{\text{पा}}}\right\}} \times \text{८०}$$

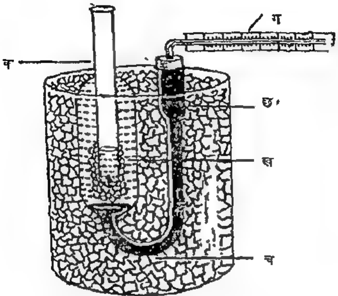
∴ वस्तूचा आपेक्षिक ऊष्मा,

$$\text{ऊ} = \frac{\text{८०}}{\left\{\frac{\text{१}}{\text{घ}_{\text{हि}}} - \frac{\text{१}}{\text{घ}_{\text{पा}}}\right\}} \times \frac{\text{प}}{\text{पु.त}} \text{ ...स. ११-१}$$

$\left\{\frac{\text{१}}{\text{घ}_{\text{हि}}} - \frac{\text{१}}{\text{घ}_{\text{पा}}}\right\}$ ही १ पुंज हिमाच्या परिमाणहानीची वहां ०.०९०७ घ. सें. मी इतकी असल्याने ही वहां वरील समीकरणात आदिष्ट केल्यास,

$$(\text{आपेक्षिक ऊष्मा}), \quad \text{ऊ} = \frac{\text{८०}}{\text{०.०९०७}} \times \frac{\text{प}}{\text{पु त}}$$

बुन्सेनच्या हिमउष्मामापकाने प ही परिमाणहानि परिशुद्धतेने मापता येऊन वस्तूच्या ऊ या आपेक्षिक उष्म्याचे गणन करता येते.



आ. ११–६

बुन्सेनच्या हिमउष्मामानाचे रेखाचित्र आकृति ११–६ मध्ये दाखविले आहे. खालचे टोक बंद असलेली क नळी ख या रुंद रम्भाकार नळीला जोडलेली असते ख नळीत विलीन वायुरहित शुद्धपाणी आणि त्यापासून क नळीच्या खालच्या पृष्ठावर झालेले काही हिम यांनी ख नळी पूर्णपणें भरलेली असते. ख च्या खालच्या भागाला आकृतींत दाखविल्याप्रमाणे च छ ही वाकविलेली अरुंद नळी असून तीत पारद भरलेला असतो. ग ही एकरूप केशालनलिका असून त्या नळीवर अथवा नळीला जोडलेल्या श्रेणीवर परिमेचे अंकन केलेले असते.

प्रथम ख मधील काही पाण्याचे हिमान परिवर्तन करणे

अवश्य असते. हिमात रूपान्तर करण्याची रीति पुढील प्रमाणे आहे. ख मधील पाणी विलीनवायुरहित असल्यामुळे त्याचे हिमात रूपान्तर करण्यास ख नळी मध्ये थोडा दस्तू (ether) घालून त्यातून भात्याच्या साहाय्याने वायु फुंकतात. वायुचे बुडबुडे दसूतून जाताना, दसूचे उद्वाष्पन शीघ्रतेने होते आणि उद्वाष्पनास लागणारा आवश्यक गुप्त ऊष्मा ख मधील पाण्यापासून मिळतो. यामुळे, ख मधील पाण्याचे अधिशीतन होऊन नंतर त्या पाण्याचे हिमात रूपान्तर होऊ लागते. अशाप्रकारे, ख मधील काही पाण्याचे हिमात रूपान्तर होऊ लागल्यावर काही वेळ हे साधित मोठ्या हिमपात्रात ठेवून त्याचा ताप ०° श. वर स्थिर होऊ देतात. यानंतर अपरीक्ष्य वस्तूचा आपेक्षिक ऊष्मा निश्चित करण्याकरता पुढील प्रमाणे या साधित्राचा उपयोग करतात. परीक्ष्य वस्तु त या उच्च तापापर्यंत तापवून शीघ्रतेने क मध्ये सोडतात (क नळीच्या तळाशी थोडी लोकर अथवा ०° श. ताप असलेले पाणी असणे अवश्य असते, कारण वस्तु आत टाकताना नळी फुटण्याचा संभव असतो). वस्तु क नळीत टाकल्यावर त्या वस्तूपासून मिळालेल्या ऊष्म्याने, ख मधील काही हिमाचे पाणी होते. हिम वितळण्याने होणारी प परिमाहानि, ग या अंकित (graduated) केशाल्पनलिकेतील पारदपृष्ठाच्या वाचनावरून समजते. वस्तूच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे गणन

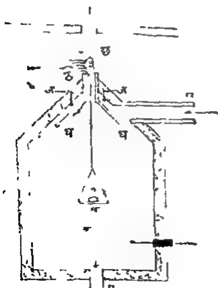
$$उ = \frac{८०}{०·०९०७} \times \frac{प}{पु \times न}$$

या सूत्राच्या साहाय्याने करतात. लहान वस्तूंच्या आणि थोड्या प्रमाणात सापडणाऱ्या मूल्यवान वस्तूंच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे निश्चयन करण्याकरता हे साधित्र फार सोयीचे आहे.

जॉलीचें प्रवाष्प उपमान
(Jolly's steam calorimeter)

एक धान्य प्रवाष्पाचे पाणी होताना त्यांतून बाहेर पडणाऱ्या ऊष्मा राशीची परिशुद्ध अर्हा माहीत असल्यास, पुढे वर्णन केलेल्या प्रवाष्प उपमानाच्या साहाय्याने वस्तूच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचें निश्चयन करता येते.

क ही धातूची दुहेरी भिंती असलेली प्रवाष्प कोठी (steam jacket) असून त्याच्या बाहेरील भाग लोकरीच्या वस्त्राने झाकलेला असतो. बाष्पित्रातील पाण्यापासून झालेले प्रवाष्प क मध्ये ख मार्गे प्रवाहित करतात. आकृति ११–७ पाहा. प्रवाष्प ग मार्गे बाहेर पडते. तुलेच्या एका बाहूला जोडलेल्या छ या बारीक तारेला च हे लहान पारडें अडकविलेले असते क प्रवाष्प कोठी आणि त्यांतील च पारडें यांचा प्रारंभिक ताप कोष्ठतापाइतका असून, ह्या कोष्टतापाचे $त_1$ मापन टिपून घेतात तुलेच्या साहाय्याने प्रथम च पारड्याचा आणि नतर त्यावरील प वस्तूचा पुंज निश्चित करतात. प्रवाष्पाचा प्रवाह क मध्ये सोडल्यास प्रवाष्पाचा क।



आ. ११–७

च, प इत्यादि शीत वस्तूस स्पर्श होताना काही प्रबाष्पाचे पाणी होते. प्रबाष्पाच्या गुप्त उष्म्यामुळे क, च, प इत्यादींचा ताप प्रबाष्पाच्या त तापाइतका वाढतो. च आणि प च्या स्पर्शामुळे प्रबाष्पाचे जे पाणी होते ते सर्व पाणी च पारड्यावरच साचते. ब मधून प्रबाष्प प्रवाहित होत असतानाच, काही क्षणानंतर तुलेच्या साहाय्याने च पारड्यावरील (प्रबाष्पाच्या तरल्नाने झालेल्या) पाण्याचा $पु_2$ पुंज निश्चित करतात. प्रबाष्प सारखे प्रवाहित असल्यामुळे, पारड्यावरील पाण्याचा ताप प्रबाष्पाच्या तापापेक्षा न्यून होत नाही. घ या रक्षकामुळे (guard) ज भागावरील पाणी च पारड्यावर पडत नाही. छ तारे-भोवती असलेली ट ही महारोधी कुंडलाकार बारीक तार विद्युत्प्रवाहाने स्वतोष्ण स्थितीत ठेवतात यामुळे ठ या लहान छिद्रमार्गात प्रबाष्पापासून झालेले पाणी साचत नाही. विद्युतप्रवाह नेणारी ट तार नसल्यास, ठ छिद्रमार्गात पाणी साचून या पाण्याच्या छ तारेवरील तलतति बलामुळे च पारड्यावरील पाण्याच्या पुंजाचे निश्चयन परिशुद्ध होऊ शकत नाही.

च पारडे आणि प वस्तु यांचा ताप $त_1$ कक्षतापापासून प्रबाष्पाच्या त तापापर्यंत वाढतो. च आणि प यांच्या तापवर्धनास लागणारा उष्मा $पु_2$ पुंज असलेल्या प्रबाष्पाच्या तरल्नामुळे मिळतो.

म्हणून,

च आणि प यांच्या तापवर्धनास लागणारा उष्मा = $पु_2$ पुंजाच्या प्रबाष्पाचा गुप्त उष्मा

$$पु \times क (त - त_1) + पु_1 क_1 (त - त_1) = पु_2 ग$$

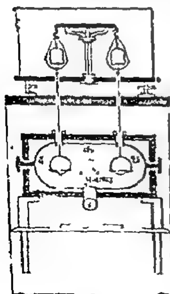
वरील समीकरणात प वस्तूचा पुंज पु असून क त्या वस्तुद्रव्याचा आपेक्षिक उष्मा आहे. च पारड्याचा पुंज $पु_1$ असून त्याचा आपेक्षिक उष्मा $क_1$ आहे. प्रबाष्पाचा गुप्त उष्मा ग ने दर्शविला असून त्याची परिशुद्ध अर्हा माहीत असल्यास पुढील प्रमाणे वस्तूच्या आपेक्षिक उष्म्याचे गणन करता येते

(पु$_1$.ऊ$_1$) ही च पारड्याची तापीय धारिता आहे या अर्हेचे एकदा सपरीक्षेने निश्चयन करून ती अर्हा पुढील निरनिराळ्या सपरीक्षांकरिता उपयोगात आणता येते

च पारड्यावर काही वस्तु न ठेवता वरीलप्रमाणेच क मध्ये प्रबाष्प सोडून, च वरील पाण्याच्या पु$_2$ पुंजाचे तुलेच्या साहाय्याने निश्चयन करतात. या स्थितीत पु$_2$ पुंज असलेल्या प्रबाष्पाच्या तरलनाने च पारड्याला ऊष्मा मिळतो.

$$पु_1 . ऊ_1 (त - त_1) = पु_2 \; गा.$$

या समीकारात त आणि त$_1$ हा अनुक्रमे प्रबाष्पाचा आणि सपरीक्षेच्या वेळेचा वोष्ठताप असून, गा हा प्रबाष्पाचा त तापावरील गुप्त ऊष्मा आहे. वरील समीकाराने (पु$_1$ ऊ$_1$) या पदसमूहाची अर्हा निश्चित केल्यास ती अर्हा समीकार ११–१ मध्ये आदिष्ट करून घ वस्तूच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे निश्चयन करता येते



आ ११–८

जॉलीचे प्रबाष्प भेदोष्मान (Jolly's differential steam calorimeter)

पूर्वे वर्णिलेल्या प्रबाष्प भेदोष्मानाचा उपयोग करून वायूंच्या स्थिर परिमेयीय आपेक्षिक उष्म्याचे गणन करता येते. आकृति

११–८ मध्ये दर्शविलेल्या क या धातूच्या दुहेरी भिंती असलेल्या मोठ्या पात्रात, द आणि ध हे एकाच धातूचे, समान आकाराचे आणि समान पुंजाचे दोन पोकळ गोल, तुलेच्या दोन पारड्यांना तारेने अडकविलेले असतात द गोलामध्ये परीक्ष्य वात्ति उच्च निपीडावर भरलेला असून, ध गोल रिक्त असतो. क मध्ये प्रवाष्प प्रवाहित करण्यापूर्वी तुला समतुलित करून द मधील पु वातिपुंजाचे निश्चयन करतात. त्यानंतर, क मधून प्रवाष्प प्रवाहित करून पूर्वी वर्णिल्याप्रमाणे तुला समतुलित करतात. यामुळे, प्रवाष्पाच्या तरलनाने द आणि ध या गोलावर साचलेल्या पाण्याच्या पुंजातील भेद ($पु_१$) समजतो. द आणि ध एकाच धातूचे आणि समान पुंजाचे असल्यामुळे, त्याच्या समान तापवर्धनास सारखाच उष्मा लागतो परंतु, द मध्ये भरलेल्या वातीचा ताप वाढविण्यास द वर जास्त प्रवाष्पाचे तरलन होते द मधील वातीचा पुंज पु असल्यास, वातीच्या स्थिर परिमेवरील आपेक्षिक उष्म्याचे ($ऊ_प$) गणन खालील समीकाराने करतात

$$पु \; ऊ_प (त - त_१) = पु_१ \; गा$$

यात $त_१$ हा प्रारम्भिक वोल्स्ताप आहे

प्रश्न

(१) एका उपमानात ५०० धान्य पाणी असून या पाण्याचा ताप ०°श आहे ५०°श. ताप असलेला १०० धान्य लोखंडाचा तुकडा या पाण्यात टाकला असून, पाण्याचा ताप ०°श वर स्थिर ठेवण्यास या पाण्यात हिमाचा किती अल्प पुंज टाकावा लागेल ?

(हिमाचा गुप्त उष्मा ८० उष्म लोखंडाचा आपेक्षिक उष्मा ०·११)

(२) एका हिम-उपमानाच्या नळीचा व्यास ०·४ सि. मी. आहे. ०°श ताप असलेल्या हिमाची घनता ०·९ असून हिमाचा गुप्त ऊष्मा ८० आहे. या उपमानास १० उप ऊष्मा दिल्यास केशालनळीतील पारदाच्या पृष्ठाचे विस्थापन किती होईल ?

(३) –१०°श ताप असलेल्या १० ग्राम्य हिमाचे १००°श ताप असलेल्या प्रवाष्पात रूपान्तर करण्यास अवश्य असणाऱ्या ऊष्म्याचे गणन करा. हिमाचा आपेक्षिक ऊष्मा ०·५, हिम आणि प्रवाष्प यांचा गुप्त ऊष्मा अनुक्रमे ८० उप आणि ५३६ उप आहे.

(४) १००°श ताप असलेली ५ ग्राम्य पुंजाची असलेली वस्तु हिम-उपमानात टाकल्यास हिमाच्या वितळण्याने परिमाहानि ०·०५ घ. सि. मी. इतकी होते. ०°श पाण्याचे हिम होताना, परिमा १/११ या प्रमाणात वाढते असे मानून वस्तूचा आपेक्षिक ऊष्मा गणन करा (हिमाचा गुप्त ऊष्मा ८० उप)

(५) गुप्त ऊष्म्याचा उपयोग केलेल्या एका उपमानाचे वर्णन करून त्याच्या साहाय्याने वस्तूच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे कसे निश्चयन करतात याचे विवेचन करा.

(६) हिम-उपमान आणि प्रवाष्प-उपमान यांच्या उपयोगात विशेष लाभ कोणते आहेत ?

(७) प्रवाष्प ऊष्मापमानाच्या उपयोगाने वायूच्या स्थिर परिमा-स्थितीतील आपेक्षिक ऊष्मा कसा निश्चित करतात हे सविस्तर लिहा.

(८) दोन हिम खण्ड परस्परांवर दाबून त्यांचा एक खण्ड

झोऊ शकतो ही घटना स्पष्ट करा. वरील घटनेची दुसरी उदाहरणें द्या.

(९) १००° श. ताप असलेला १० ग्रान्य धातुखण्ड हिम उपमानात टाकल्यास केशालनळीत पारदपृष्ठ ४ भाग विस्थापित होतो. ह्याच उपमानात ३०° श. ताप असलेले १५ ग्रान्य पाणी टाकल्यास केशालनळीतील पारदपृष्ठ १८ भाग विस्थापित होतो. ह्यावरून धातुखण्डाचा आपेक्षिक ऊष्मा किती असावा ?

---

* * * *

प्रकरण १२

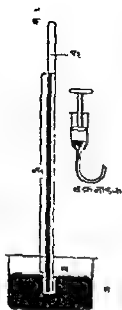
बाष्प–निपीड

तरलाचें वातीय अवस्थेंत होणारें स्थित्यंतर अनेक भिन्न तापावर होतें. उदाहरणार्थ, एखाद्या पात्रातील पाणी उन्हाळ्यात तसेंच हिवाळ्यातहि हळूहळू वातिरूपात नाहीसें होते. अशा रीतीने तरलापासून वातीय अवस्थेंत रूपांतर होणाऱ्या घटनेस 'उद्बाष्पन' (evaporation) ही संज्ञा आहे. वातीय अवस्थेंत गेलेलें हें तरलद्रव्य बाष्पस्थितीत आहे असेंहि म्हणण्याचा प्रघात आहे

उद्बाष्पनाच्या अभ्यासात असें दिसून आलें आहे की, तरलाच्या मुक्तपृष्ठाचें क्षेत्रफळ जास्त असल्यास तरलाचें उद्बाष्पनहि क्षेत्रफळाच्या प्रमाणात वाढतें. तरलाच्या पृष्ठावरून वायु प्रवाहित केल्यास अथवा तरलाचा ताप वाढविल्यास उद्बाष्पनाची क्रिया जास्त शीघ्रतेने होते तरलाचें वाति-स्थितीत होणारे स्थित्यंतर तरलाच्या पृष्ठभागातच होत एका विशिष्ट मर्यादेइतका तरलाचा ताप आल्यानंतरहि त्यास आणखी ऊष्मा मिळाल्यास, ताप स्थिर राहून तरलाच्या सर्व भागांतून बुडबुडे निघू लागतात आणि त्याचें बऱ्याच शीघ्रतेनें वातीय अवस्थेंत रूपांतर होत या स्थितीत तरल उकळतें असे म्हणतात ज्या स्थिरतापावर तरल उकळत त्या तापास तरलाचा 'बुदबुदांक' (boiling point) अशी संज्ञा आहे

तरलाचें बाष्प निपीड

भिन्न भिन्न तापस्थितीत तरलाचे बाष्पनिपीड पुढीलप्रमाणे



आ १२–१

मापना येते. क टोक वर असलेली कख ही समरूप नळी पारदाने पूर्णपणे भरल्यावर नळी उलटी करून तिचे उघडे असलेले ख टोक ग या पारदाशयात बुडविलेले असते (आकृति १२–१ पाहा) या स्थितीत नळीतील काही पारद पारदाशयात सांडून, नळीतील पारदस्तम्भाची उंची वायुमण्डलीय निपीड दर्शविते. पारदाशयातील पारदाच्या मुक्त पृष्ठाखालील ख या उघड्या टोकातून एका वक्रनाळकाच्या (curved pipette) साहाय्याने कख नळीत थोडा दग्धु (ether) सोडल्यास, नळीतील पारदपृष्ठावर दग्धुतरलाचे बिन्दु पोचताच दग्धुचे शीघ्र उद्‌वाष्पन होते, आणि कख मधील पारदस्तम्भाची उंची थोडी न्यून होते या स्थितीत, $न_१$ ही कख मधील पारदस्तम्भाची उंची असून वायुमण्डलीय निपीडाची अर्हा पारदस्तम्भाच्या ना उंचीने दर्शविल्यास,

$$न_१ + \text{नळीतील दग्धुवाष्पाचे निपीड} = ना$$

$$\therefore \quad \text{दग्धुवाष्पाचे निपीड} = (ना - न_१)$$

ना आणि $न_१$ यांच्या अर्हा सपरीक्षेने मापन केल्यास दग्धुवाष्पाच्या निपीडाची अर्हा निश्चित करता येते. कख नळी पारदाशयात जास्त खाली बुडविल्यास नळीतील पारदपृष्ठावरील

दक्षुवाष्पाची परिमा न्यून होते. अशा रीतीने समताप स्थितीत दक्षुवाष्पाची $प_२$, $प_३$ परिमा काही विशिष्ट मर्यादेपर्यंत परिवर्तित करून तत्संबंधी $(ना - न_२)$, $(ना - न_३)$ वाष्प-निपीडाचे गणन केल्यास असे दिसून येते की,

$$(ना - न_१)\, प_१ = (ना - न_२)\, प_२ = (ना - न_३)\, प_३ \ldots\ldots$$

वरील समीकारावरून असे दिसते की, काही विशिष्ट मर्यादेपर्यंत बाष्पाचा समताप स्थितीतील निपीड-परिमासबंध बॉईलच्या स. तर. प. लि. नियमाने दर्शविता येतो. वरील परिमा परिवर्तनाची मर्यादा काय असते हे पुढील विवेचनावरून लक्षात येईल.

नाडकातून क ख नळीत जास्त दक्षु सोडल्यास, क ख मधील पारदस्तम्भाची उंची काही मर्यादेपर्यंत न्यून होत जाते यानंतर, क ख मध्ये आणखी जास्त दक्षु प्रविष्ट केल्यास, नळीतील पारदपृष्ठावर आलेल्या तरलाचे उद्वाष्पन होत नाही. आणि क ख मधील पारदस्तम्भाची उंची स्थिर राहते. ही स्थिर अर्हा न' असून नळीतील दक्षुवाष्पाचा ताप त असल्यास, (ना – न') हे दक्षुवाष्पाचे त तापावरील भूयिष्ठ वाष्प-निपीड (maximum vapour pressure) असते या स्थितीतील दक्षुवाष्प अनुविद्ध (saturated) स्थितीत आहे असे म्हणतात. पर्यायाने दक्षुवाष्पाने व्यापलेली परिमा दक्षुवाष्पाने अनुविद्ध आहे असेहि म्हणण्याचा प्रघात आहे

(१) अनुविद्ध दक्षुवाष्पाची परिमा समतापावर सकोचित केल्यास काही वाष्पाचे सघनन (condensation) होऊन उरलेल्या परिमेतील दक्षुवाष्पाचे निपीड पूर्वी इतकेच म्हणजे भूयिष्ठ वाष्प-निपीडाइतकेच स्थिर असते.

(२) अनुविद्ध दक्षुवाष्पाची परिमा समताप स्थितीत वाढविल्यास या वाष्पाचे निपीड न्यून होते आणि या दक्षुवाष्पाची परिमा आणि त्याचे निपीड याचा संबंध बॉईलच्या स. ता प. नि. नियमाने दर्शविता येतो.

(३) निपीड स्थिर ठेवून अनुविद्ध स्थितीतील दक्षुवाष्पाचा ताप वाढविल्यास, या वाष्पाचे परिमावर्धन चार्लसच्या वाति–परिमा–वर्धन नियमा प्रमाणे होते.

(४) कक्ष नळीचा ताप वाढवून दक्षुवाष्पाच्या निपीडाचा अभ्यास केल्यास दिसून येते की, वाढलेल्या ताप स्थितीत या वाष्पाचे भूयिष्ठ निपीडहि वाढलेले असते.

कक्ष नळीत दक्षु न घालता दुसरे एखादे भिन्न तरल प्रविष्ट केल्यास, काही मर्यादेपर्यंत (अनुविद्ध स्थिति येईपर्यंत) या तरलाच्या वाष्पाचा परिमा, निपीड आणि ताप या तिन्हीचा संबंध बॉईलच्या (स. ता प नि.) आणि चार्लसच्या (वाति परिमा वर्धन) नियमानी दर्शविता येतो. या तरलाच्या अनुविद्ध स्थितीतील वाष्पनिपीड हे त्या तापावरील या तरलाचे भूयिष्ठ वाष्पनिपीड होय.

भिन्न तरलाच्या वाष्पनिपीडाच्या (वरीलप्रमाणे केलेल्या) अभ्यासाचा निष्कर्ष पुढील नियमानी दर्शविता येतो.

(१) विशिष्ट तापावर तरलाच्या वाष्पनिपीडाची अशी काही मर्यादेपर्यंतच वाढ सवते. या महत्तम वाष्प–निपीडास, त्या तापावरील त्या तरलाचे ' भूयिष्ठ वाष्प–निपीड ' ही संज्ञा आहे भिन्न भिन्न तरलाचे समतापावरील भूयिष्ठ वाष्पनिपीड भिन्न असते

(२) तरलाचे वाष्पनिपीड भूयिष्ठ वाष्पनिपीड असल्यास, त

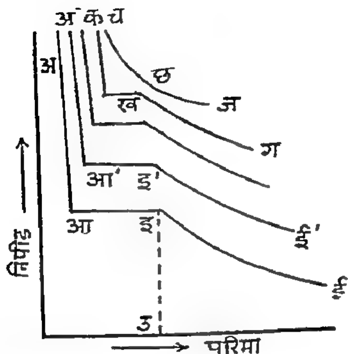
वाष्प अनुविद्ध स्थितीत आहे असे म्हणतात समताप स्थितीत वाष्पाची परिमा न्यून करून अथवा स्थिर परिमेत जास्त तरल प्रविष्ट करून तरलबाष्प अनुविद्ध स्थितीत आणता येते.

(३) समताप स्थितीत अनुविद्ध वाष्पाची परिमा वाढविल्यास होणारे निपीड परिवर्तन बॉईलच्या स ता प नि नियमानुसार होते. या स्थितीतील तरलबाष्प 'अननुविद्ध स्थितीत' आहे असे म्हणतात.

(४) अनुविद्ध स्थितीतील वाष्पाचे निपीड स्थिर ठेवून त्याचा ताप वाढविल्यास बाष्प अननुविद्ध स्थितीत येऊन त्याचे परिमा परिवर्तन चार्लसच्या वाति परिमा वर्धन नियमाप्रमाणे होते.

(५) अननुविद्ध (unsaturated) वाष्पाची परिमा, त्याचे निपीड आणि ताप यांचा परस्पर संबंध बॉईलच्या (स ता. प नि) आणि चार्लसच्या (वाति परिमा वर्धन) नियमांनी दर्शविता येतो

तरल आणि त्याचे बाष्प यांचा समताप स्थितीतील परिमा-निपीडसंबंध एकाच बिन्दुरेषेने दर्शविण्याचा प्रघात आहे. आकृति १०-२ पाहा अ आ इ ई या समताप वक्रावरील (isothermal curve) इ ई भागाने अननुविद्ध बाष्पाची परिमा आणि त्याचे निपीड यांचा संबंध दर्शविला आहे. इ या बिन्दूने दर्शविलेल्या स्थितीतील इ उ ह बाष्पाचे त्या तापावरील भूयिष्ठ निपीड होय. इ आ या भागाने भूयिष्ठ निपीड असताना अनुविद्ध बाष्पाचे सघनतेने होणारे परिमा संकोचन दर्शविले आहे इ सघनन होताना इ आ या भागातील निपीड स्थिर असते आ बिन्दूने दर्शविलेल्या स्थितीत सर्व बाष्पाचे सघननाने तरल झाले असून या तरलाची परिमा न्यून करण्यास निपीड बरेच वाढवावे लागते हे आ अ या भागाने दर्शविले आहे अ आ इ ई हा त्याच तरल पुंजाचा जास्त

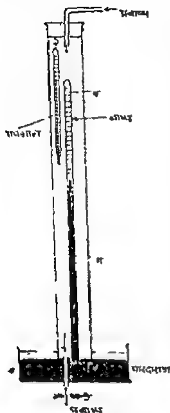


आ. १२-२

तापावरील समतापवक्र आहे. या वक्रासंबंधी जास्त विवेचन याच प्रकरणात पुढे केले आहे.

वाष्प-घनता (vapour-density)

वाष्पाचा पुंज आणि त्याच वाष्पाइतकी परिमा, निपीड आणि ताप असलेल्या वायूचा पुंज या दोहोंच्या निष्पत्तीला 'वाष्प-घनता' म्हणण्याचा प्रघात आहे. म्हणजे वाष्पाची घनता ही एका अर्थाने सापेक्ष घनता आहे असे म्हणता येईल.



आ. १२-३

एक लहान काचेची कुपी तरलाने पूर्ण भरतात. या कुपीला काचेची पिधा बसवून कुपीतील तरलाच्या पुंजाचे निश्चयन करतात. परिमेचे अंकन केलेल्या कख ह्या एकरूप नळीत पारद भरून ती ग पारदाशयात उलटी केलेली असते. (आकृति १२-३ पाहा). क भोवती घ या जास्त रुंद नळीचे समावरण असून त्यातून प्रवाप्प प्रवाहित करता येते. तरलाने भरलेली लहान कुपी ग मार्गे कख नळीत प्रविष्ट केल्यास ती कख नळीतील पारदस्तम्भाच्या पृष्ठावर येते. क भागातील निपीड अत्यंत अल्प असल्याने पिधा उघडली जाऊन कुपीतील तरलाचे शीघ्र उद्वाष्पन होते आणि हे बाष्प पारदस्तम्भावरील परिमा व्यापते. यामुळे कख च्या पारदस्तम्भाची उंची न्यून होते. ग मधून प्रवाप्प प्रवाहित करून कख चा ताप स्थिर झाल्यावर कख मधील पारदस्तम्भाची उंची मापतात व तापमानावरील स्थिर तापाचे वाचन आणि त्याबरोबर नळीतील बाष्पाच्या परिमा अंकनाचे वाचन टिपून घेतात.

बाष्पाचा निपीड + कख मधील पारदस्तम्भाची उंची = वायुमण्डलीय निपीड

वरील सूत्राच्या साहाय्याने वाष्पाच्या निपीडाचे गणन करतात. याच निपीडावरील आणि समान ताप असलेल्या तेवढ्याच परिमितीच्या वायूचा पुंज गणन करता येतो. वाष्पाचा पुंज आणि वायूचा पुंज या दोहोंच्या निष्पत्तीवरून वाष्प-घनता निश्चित करतात. अनेक तरलांच्या वाष्पघनता निश्चित केल्यावर असे दिसून आले आहे की, वाष्प-घनता वाष्पद्रव्याच्या व्यूहाण्विक भाराशी (moleculer weight) अनुपाति असते. रसायनिक द्रव्याचे वाष्पन करणे शक्य असल्यास त्या वाष्पाची उद्जनाशी सापेक्ष घनता निश्चित करून या द्रव्याच्या व्यूहाण्विक भाराचे गणन करणे शक्य असते

बुद्बुदांकावरील भूयिष्ठ वाष्प निपीड

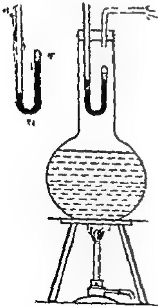
मागील परिच्छेदात वर्णिलेल्या कख नळीत (आकृति १२-३ पाहा) घननाडकाने पुरेसे पाणी प्रविष्ट करून ग मधून प्रवाष्प प्रवाहित करताना, कख मधील पारद घ पारदाशयात पूर्णपणे उतरतो आणि कख आणि घ मधील पारदपृष्ठतल एकाच समतलात येतात. कख नळींतील पाण्यापासून झालेल्या वाष्पाचा निपीड वायुमण्डलीय निपीडाइतका आहे हे यावरून लक्षात येईल. समावरणातून प्रवाष्प प्रवाहित होत असल्याने कख नळींतील पाण्याच्या वाष्पाचा ताप पाण्याच्या बुद्बुदांका इतका आहे यावरून, बुद्बुदांकावरील पाण्याच्या वाष्पाचे भूयिष्ठ निपीड वायुमण्डलीय निपीडासमान असते असे दिसून येईल

कख नळींत पाणी प्रविष्ट न करता दुसरे एखादे पुरेसे (अनुविद्ध स्थिति येण्याइतके) तरल प्रविष्ट करावे. वायुमण्डलीय निपीडावर उकळणाऱ्या द्रवाचे तरलाचे वाष्प ग समावरणातून प्रवाहित केल्यास नळींतील पारदपृष्ठ पारदाशयातील पारदपृष्ठाच्या

समतलात येतो यावरून, तरलाच्या बुद्बुदाकावरील भूयिष्ठ वाष्पनिपीड हें बाह्य निपीडाइतकें असतें असा वरील सपरीक्षेचा निष्कर्ष दिसतो.

तरलाचा बुद्बुदाक आणि त्याचें भूयिष्ठ निपीड याचा संबंध पुढील साध्या सपरीक्षेनें सिद्ध करता येतो. आकृति १२–४ (अ) मध्यें दर्शविलेल्या कखग या ऊर्ध्वबाहूनळीचें क टोक बंद असतें. कख ह्या बाहूपेक्षा खग हा बाहू जास्त लांब असून ग कडील त्याचें टोक उघडें असतें. प्रथम उघड्या टोकाकडून नळीत पारद घालून नळी अभिनत करून कख भाग पारदानें पूर्ण भरतात त्यानंतर ग द्वारें नळीत थोडें पाणी घालतात. कखग नळी अभिनत करून कख मधील पारदस्तम्भावर पुरेसं पाणी येऊं देतात कोष्ठतापावर कख मधील पाण्याशी स्पर्शित असलेल्या पारदपृष्ठतलाची उंची, खग बाहूमधील पारदस्तम्भापेक्षा जास्त असते. नंतर कखग ही नळी घृषित्वशेतून (rubber cork) एका रुंद तोंडाच्या चंबूत ठेवितात (आकृती १२–४ आ पाहा). घृषित्वशेच्या दुसऱ्या छिद्रात बसविलेल्या लहान नळीतून चंबूत उकळणाऱ्या पाण्याचें बाष्प बाहेर पडू शकतें. चंबूतील पाणी तापून

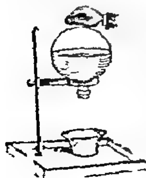
आ. १२–४ (अ)



आ १२–४ (आ)

उकळू लागताच, ब मधील काही पाण्याचे बाष्प होते आणि दोन्ही बाहूतील पारदपृष्ठ समतलात येतात. मग मधील पारदपृष्ठावर वायुमण्डलीय निपीड असल्याने क मधील बुद्बुदाकावरील बाष्पाचे भूयिष्ठ निपीड वायुमण्डलीय निपीडासमान आहे हे यावरून सिद्ध होते. कख मध्ये पाण्याव्यतिरिक्त दुसरे तरल प्रविष्ट करून, तेच तरल चंबूत उकळल्यास वर वर्णन केलेलीच घटना दृष्टीस पडते. यावरून, तरलाच्या बुद्बुदाकावरील बाष्पाचे भूयिष्ठ निपीड हे वायुमण्डलीय निपीडाइतके असते असे दिसून येईल.

तरलाच्या बुद्बुदाकावरील भूयिष्ठ बाष्प-निपीड हे वायु-मण्डलीय निपीडा इतके म्हणजेच तरल पृष्ठावरील बाह्य-निपीडा इतके असते ही घटना पुढीलप्रमाणे दर्शविता येईल. तरलाचा ताप वाढवीत असता त्याचे भूयिष्ठ बाष्पनिपीड हे बाह्य (वायुमण्डलीय) निपीडाइतके होताच तरल उकळू लागते ही घटना पुढील वेगळ्या परीक्षेवरून दाखविता येते.



आ १२–५

एका चंबूतील पाणी तापवून थोडा वेळ उकळू द्या. पाणी उकळत असताना चंबूचे तोंड बूचाने बंद करून घ्या आणि आकृति १२–५ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे स्टँडावर उलटा ठेवा. पाणी उकळत असता त्यापासून झालेल्या बाष्पाने चंबूतील वायु बाहेर लोटला जाऊन, पाण्यावरील पोकळी बाष्पाने पूर्णपणे व्यापलेली असते. या स्थितीत जेव्हा चंबूला पृथिव्यां वर्फमिश्रित थंड चंबूतील पाण्यावर केवळ

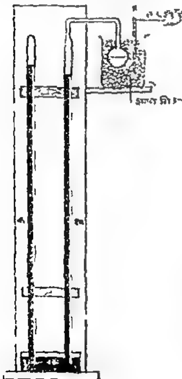
प्रबाष्पच असते त्यामावर उलटा ठेवलेल्या चबूचा ताप बराच न्यून झाल्यावर चबूवर थोडें शीत पाणी टाकताच चबूंतील पाणी कोष्ठ-तापावर उकळू लागते. शीत पाणी टाकल्यानंतर चबूतील काही प्रबाष्पाचे सघनन होऊन, त्याच्या निपीडात हानि होते अशा रीतीने चबूतील पाण्यावरील बाष्पनिपीड (बाह्यनिपीड) न्यून झाल्याने, पाण्याच्या बुद्बुदांकातहि हानि होऊन कोष्ठतापावर पाणी उकळू लागते. यावरून, तरलाचा बुद्बुदांक तरलावरील बाह्य निपीडावर अवलंबून असतो हे लक्षात येईल.

समुद्रसपाटीपासून जसजसे वर जावे तसतसे वायुमण्डलीय निपीडात हानि होते. पर्वत शिखरावरील वायुमण्डलीय निपीड समुद्र-सपाटीवरील निपीडापेक्षा न्यून असल्याने तेथे पाण्याचा बुद्बुदांक १००° दा पेक्षा न्यून असतो पर्वतशिखरावरील वायुमण्डलीय निपीड माहीत असल्यास, समुद्रसपाटीपासून स्थळाची उंची आणि वायु-मण्डलीय निपीड यांचा संबंध दर्शविणाऱ्या सूत्राच्या साहाय्याने समुद्रसपाटीपासून पर्वतशिखराच्या उंचीचे गणन करता येते. पर्वत-शिखरावरील वायुमण्डलीय निपीड वायुदाबमानाने प्रत्यक्ष न मापता त्या स्थळी बुद्बुदांकाचे निश्चयन करतात या बुद्बुदांकावरील भूयिष्ठ बाष्पनिपीड सारणीवरून समजते पाणी उकळत असता प्रबाष्पाचे भूयिष्ठ बाष्प निपीड वायुमण्डलीय निपीडाइतके असल्याने सारणीतील भूयिष्ठ बाष्पनिपीडाने त्या स्थानाच्या वायुमण्डलीय निपीडाची अर्हा समजते आणि त्यावरून निपीड आणि उंची यांचा संबंध दर्शविणाऱ्या सूत्राच्या साहाय्याने पर्वत शिखराच्या समुद्रसपाटी-पासून उंचीचे गणन करता येते

विलयनाचे बाष्प-निपीड

आकृति १२-१ मध्ये दाखविलेल्या काच नळीत लवण (sail)

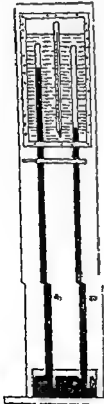
विलयित केलेले पाणी वक्र नाडकाच्या साहाय्याने प्रविष्ट केल्यास, पारदस्तम्भाच्या उचींत थोडी हानि होते. वक्र नळीत पुरेसे विलयन प्रविष्ट करून या विलयनाच्या भूयिष्ठ बाष्पनिपीडाचे गणन करता येते. ह्या अभ्यासात असे दिसून आले आहे की, विलयनाचे भूयिष्ट बाष्पनिपीड शुद्ध विलेयकाच्या समतापावरील बाष्पनिपीडापेक्षा थोडें न्यून असते. विलयनाचा बुद्बुदाङ्क शुद्ध विलेयकाच्या बुद्बुदाङ्कापेक्षा थोडा जास्त असतो या घटनेचे असे स्पष्टीकरण देता येईल की, शुद्ध विलेयकाचे भूयिष्ठ बाष्पनिपीड काही विशिष्ट तापावर (शुद्ध विलेयकाच्या बुद्बुदाङ्कावर) वायुमण्डलीय निपीडाइतके होताच विलेयक उकळू लागतो तथापि, ह्याच तापावरील विलयनाचे भूयिष्ठ बाष्पनिपीड विलेयकाच्या भूयिष्ठ बाष्पनिपीडापेक्षा न्यून असल्याने ह्या तापावर (म्हणजेच विलेयकाच्या बुद्बुदाङ्कावर) विलयन उकळू शकत नाही विलयन उकळू लागण्याकरता त्याचे भूयिष्ठ बाष्पनिपीड बाह्य (वायुमण्डलीय) निपीडाइतके असले पाहिजे म्हणून विलयनाचा बुद्बुदाङ्क शुद्ध विलेयकाच्या बुद्बुदाङ्कापेक्षा थोडा जास्त असतो



आ १२६

भूयिष्ट बाष्पनिपीडाचें निश्चयन

(१) अल्प तापक्षेत्रांत तरलाच्या भूयिष्ठ बाष्पनिपीडाचे निश्चयन पुढील प्रमाणे करतात. टोकें बंद असलेल्या क आणि ख ह्या दोन एकरूप नळ्या असून क मधील पारदस्तम्भाच्या वाचनाने वायुमण्डलीय निपीड समजतें (आकृति १२–६ पाहा). ख नळीचा वरचा भाग वाकवून त्याला एक कन्द जोडलेला असतो या कन्दात परीक्ष्य तरल असून हा कन्द द्रावनमिश्रणात ठेवलेला असतो द्रावनमिश्रणाच्या तापावरील ख कन्दातील तरलाचें भूयिष्ठ बाष्पनिपीड क आणि ख यामधील पारदस्तम्भाच्या उंचीतील भेदाइतकें असतें. द्रावन मिश्रणाच्या तापात थोडें परिवर्तन करून परीक्ष्य तरलाच्या अनेक भिन्न परंतु अल्प ताप स्थितीतील भूयिष्ठ बाष्पनिपीडाचें निश्चयन करता येतें.



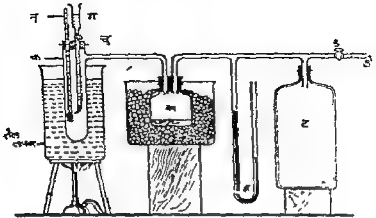
आ. १२–७

(२) सामान्य तापक्षेत्रांत भूयिष्ठ बाष्पनिपीडाचें निश्चयन पुढील साधित्राच्या साहाय्याने करता येते. आकृति १२–७ मध्ये क आणि ख ह्या दोन एकरूप नळ्यात पारद असून वक्र नाडकाच्या साहाय्याने ख नळीत पुरेसे परीक्ष्य तरल प्रविष्ट करतात क नळीमधील पारदस्तम्भाची उंची वायुमण्डलीय निपीड दर्शविते क आणि ख नळ्याच्या भोवतीच्या जलतापनाचा ताप योग्य रीतीने

परिवर्तित करून विशिष्ट तापावर ख मधील तरलाचे भूयिष्ठ बाष्पनिपीड व आणि ख मधील पारदस्तम्भाच्या उचींतील भेदावरून गणन करतां येत परिशुद्धतेच्या दृष्टीने क आणि ख मधील पारदस्तम्भाच्या उचींतील भेद ०° श. तापावरील पारदस्तम्भाने दाखविणे अवश्य असते भूयिष्ठ बाष्पनिपीड निश्चयनाच्या वरील रीतीस 'स्थैतिकीय रीति' (statical method) म्हणतात

(३) बुद्बुदावाजवळील तापक्षेत्रात तरलाच्या भूयिष्ठ बाष्पनिपीडाचे निश्चयनात पुढील प्रनियमाचा उपयोग करतात तरल उक्कळत असताना, तरलाचे भूयिष्ठ बाष्प निपीड तरलावरील बाह्य निपीडाइतके असत यावरून, बाह्यनिपीड मापून त्या निपीडावरील तरलाचा बुद्बुदांक निश्चित केल्यास, त्या बुद्बुदांकावरील भूयिष्ठ बाष्पनिपीड समजत तरलाच्या बाह्य निपीडात आवश्यक परिवर्तन करून, भिन्न भिन्न बाह्यनिपीडावर तरलाचा बुद्बुदांक निश्चित करतात हा रीतीला 'प्रवेगिकीय (dynamical) रीति' असं म्हणतात रॅम्से आणि यंग या शास्त्रज्ञांनी उपयोगात आणलेल्या साधित्राचे चित्र आकृति १२–८ मध्ये दर्शविले आहे

क या जाड काचेच्या परिदय नळीत त तापमान आणि ग ही निस्विपिधा असलेली श्रृगाल निवापाची नळी तापमानानिकट बसविलेली असते तापमानाच्या कन्दाभोवती थोडा कापूस गुंडाळलेला असून, श्रृगाल निवापाच खालचे टोक थोडे वाकवून तापमानाच्या कन्दाजवळ आणलेले असत क नळी तैल तापनात (oil bath) ठेवून, तिचा ताप वाढवता येतो श्रृगाल निवापात टाकलेले सपरीक्ष्य तरल ग नळीच्या टोकातून कापसावर थोडे थोडे झिरपत असते या तरलाचे बाष्पस्थितीत रुपांतर होऊन ह बाष्प आकृति १२–८ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे च नळीद्वारे स्यान मिश्रणात ठेवलेल्या, काचेच्या मोठ्या परिमच्या ख कूपीत येत या पात्रात त्या बाष्पाचे घनन होत ज या निपीडामानान



आ. १२-८

वायुमण्डलीय निपीड आणि साधित्रातील वायूचे निपीड यातील भेद समजतो. वायुमण्डलीय निपीड माहीत असल्याने, साधित्रातील वायूच्या निपीडाचे गणन करतां येते.

क, ख इत्यादींच्या, घृपित्वशातून साधित्रातील वायु कदाचित् बाहेर येत असल्यास, सपरीक्षेच्या अल्पावधीत साधित्रातील वायूच्या निपीडांत परिवर्तन होते. खचा इत्यादींतून बाहेर येणाऱ्या वायूची परिमा साधित्रातील वायूच्या परिमेच्या मानाने फारच अल्प असल्यास वर सांगितलेले निपीडपरिवर्तन उपेक्षणीय असतें. म्हणून या साधित्रात ट या मोठया परिमेच्या पात्राची योजना केलेली असते. ट नळीचे टोक वातचूषोदचाला अथवा संपीडकाला (compressor) जोडून, साधित्रात वायूच्या निपीडाची इष्ट अर्हा योजतां येते. त्यानंतर, ड ही तोटी फिरवून साधित्रातील वायु बदिरत करता येतो. तैल तापनाचा ताप वाढवून, क नळीचा ताप वाढविता येतो. क मधील

तापमानाचे वाचन ज्या तापावर स्थिर होते तो ताप ग मधील परीक्ष्य तरलाचा साधित्रातील वायुनिपीडावरील बुद्बुदाक समजावा, कारण तापनातून तरलाला बराच उष्मा मिळत असूनहि, त्याचा ताप न वाढता स्थिर तापावर तरलाचे उद्वाष्पन चालू असतें. या स्थितीत, तरलाचे भूयिष्ठ बाष्पनिपीड आणि साधित्रातील वायूचे निपीड हीं दोन्ही तुल्य असलीच पाहिजेत अर्थात् साधित्रातील वायूचे निपीड त तापमानानें दर्शविलेल्या स्थिर तापावर, परीक्ष्य तरलाच्या भूयिष्ठ बाष्पनिपीडा इतकें असतें हें सहज लक्षात येईल. साधित्रातील वायुनिपीडात परिवर्तन करून तापमानाची तत्संबधी स्थिर तापवाचनें घेतात. अशा रीतीने भिन्न भिन्न ताप-स्थितीतील परीक्ष्य तरलाच्या भूयिष्ठ बाष्पनिपीडाचे निश्चयन करता येते

डाल्टनूच्या आंशिक निपीड नियम
(law of partial pressures)

वाति आणि बाष्प याच्या मिश्रणातील एका घटकानें समतापावर स्वतंत्र स्थितीत मिश्रणाच्या परिमेयतकीच परिमा व्यापिली असता त्याच जें निपीड होईल त्या निपीडास त्या घटकाचें 'आंशिक निपीड' (partial pressure) म्हणतात मिश्रणातील वाति आणि बाष्प याची परस्परावर रसायनिक क्रिया होत नसल्यास, घटकाच्या या आंशिक निपीडाच्या मिळवणी (sum) इतकें मिश्रणाचें निपीड असतें उदाहरणार्थ, घटकाचे आंशिक निपीड अनुक्रमे $न_1, न_2, न_3, \ldots$ असल्यास, वाति आणि बाष्प याच्या मिश्रणाचे (न) परिणामी निपीड खालील सूत्राने दर्शविता येते

$$न = न_1 + न_2 + न_3 + \ldots \quad \ldots \quad \ldots (स\ १२-१)$$

वाति आणि बाष्प याच्या मिश्रणाच्या निपीडासंबंधी वरील नियमास डाल्टनूचा 'आंशिक निपीड नियम' म्हणतात

मिश्रणाच्या निपीडासंबंधी डाल्टन्चा वरील नियम काही मर्यादेंतच सत्य आहे. हा आंशिक निपीड नियम सर्व परिस्थितीत सत्य असल्यास, अनेक भिन्न वाति आणि वाष्पद्रव्यें एका विशिष्ट परिमेंत प्रविष्ठ करुन या मिश्रणाचे निपीड हवें तितकें वाढविता येणें शक्य झालें असतें. परंतु ही घटना शक्य कोटीतील नाही हें लक्षात येईल. पुढील संपरीक्षेने आंशिक निपीड नियमाची प्रचिती घेता येते.

क या पारद वापीडमानात (आकृति १२–१ पृ. २९४ पाहा). वक्रनाडकाच्या साहाय्याने थोडा वायु प्रविष्ट करावा. हा वायु पारद-स्तम्भाच्या वर येऊन, पारदावरील नळीतील सर्व परिमा व्यापतो आणि त्याच्या निपीडाने पारदस्तम्भाची उंची न्यून होते क मधील पारदस्तम्भाची उंची $न_१$ असून वाप्मण्डलीय निपीड ना असल्यास $(ना - न_१)$ हें क मधील वायूचें निपीड असतें क नळीचा अनुप्रस्थ छेद क्ष असून पारदस्तम्भावरील नळीच्या भागाची उंची ल असल्यास, $(ल \times क्ष)$ ही क मधील वायूची परिमा आहे हें लक्षात येईल.

या स्थितीत, वक्रनाडकाच्या साहाय्याने क नळीमध्ये पुरेसा दक्षु सोडल्यास पारदस्तम्भावरील परिमा दक्षुबाष्पानें अनुविद्ध होऊन पारदस्तम्भाची उंची $न_२$ होते. आंशिक निपीड नियमान्वये,

$$(ना - न_२) = \text{दक्षुबाष्पाचे अनुविद्ध स्थितीतील निपीड} + \text{मिश्रणातील वायूचे निपीड } न$$

$$\therefore \quad (ना - न_२) - न' = \text{दक्षुबाष्पाचे अनुविद्ध स्थितीतील निपीड} \qquad \text{स. १९–२}$$

क मधील दक्षुबाष्प अनुविद्ध स्थितीत असतां पारद-

पृष्ठावरील नळीची उंची $ल_२$ असल्यास, मिश्रणाची परिमा ($ल_२ \times क्ष$) इतकी असते. वायु आणि दवबाष्प याचे मिश्रण समतापावर केले असल्याने, वायूचे परिमा परिवर्तन बॉईलच्या स. ता. प. नि. नियमा प्रमाणें होते.

$$\therefore \quad (ना - न_१)\ (ल_१ . क्ष) = न'\ (ल_२ . क्ष)$$

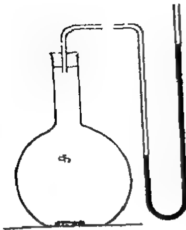
$$\therefore \quad न',\ (\text{मिश्रणातील वायूचे आंशिक निपीड}) = (ना - न_१) \frac{ल_१}{ल_२}$$

न' ची वरील अर्हा समीकार १२–२ मध्ये आदिष्ट केल्यास,

$$(ना - न_२) - \frac{(ना - न_१) ल_१}{ल_२} = \text{दवबाष्पाचे अनुविद्ध स्थितीतील निपीड.}$$

सपरीक्षेतील मापनाने वरील समीकाराच्या डाव्या पक्षाची गणन केलेली अर्हा, सारणीत दर्शविलेल्या सपरीक्षतील तापावरील दवतरलाच्या भूयिष्ठ बाष्पनिपीडाइतकी असते. ही गणन केलेली भूयिष्ठ निपीडाची अर्हा आंशिक निपीड नियमाधारे असल्याने आंशिक निपीड नियम सत्य असल्याची प्रचिती या सपरीक्षेवरून येते.

आंशिक निपीड नियमाचा अभ्यास पुढील साध्या सपरीक्षेने करता येतो. एका मोठ्या आकाराच्या क या काचेच्या पलिघाला (flask) ख हें एक निपीडामान जोडलेले असते (आकृति १२–९ पाहा) प्रथम पलिघातील वायूचे आणि बाहेरील वायुमण्डलाचे निपीड समान असल्याने, निपीडामानातील दोन्ही बाहूतील तरल पृष्ठ एकाच क्षैतिजतलात असतात पलिघात पातळ काचेच्या बंद



आ. १२-९

केलेल्या लहान नळयांत दक्षुतरल भरून त्या पलिघात ठेवतात. पलिघांतील वायूचा ताप कोष्ठतापावर स्थिर असतो. पलिघ जोराने हलविल्यास, काचेच्या नळ्या फुटून त्यातील दक्षुचें अनुविद्ध बाष्प पलिघाच्या परिमेंत पसरते. ताप स्थिर झाल्यावर ख या निपीडामानाचें वाचन घेतात. या वाचनावरून पलिघातील मिश्रणाचें निपीड आणि वायुमण्डलीय निपीड यातील भेद समजतो. आंशिक निपीड नियमाप्रमाणे

मिश्रणाचे निपीड = अनुविद्ध दक्षुबाष्पाचे निपीड + पलिघातील वायूचे निपीड

निपीडमानाचें वाचन = पलिघातील मिश्रणाचे निपीड− वायुमण्डलीय निपीड.

= अनुविद्ध दक्षुबाष्पाचे निपीड + पलिघातील वायुचे निपीड − वायु[मण्डलीय निपीड.

= अनुविद्ध दक्षुबाष्पाचे निपीड.

∴ निपीडमानाचे वाचन = सावित्राच्या तापावरील दक्षुतरलाचें भूयिष्ठ बाष्प निपीड.

कारण, पलिघाची परिमा बरीच जास्त असल्याने निपीड-मानाच्या बाहूतील तरलाच्या उचीत परिवर्तन झाल्यास, पलिघातील परिमेचे परिवर्तन उपेक्षणीय असते. म्हणून वरील सपरीक्षेत प्रारंभापासून शेवटपर्यंत पलिघातील वायूचे समतापावरील निपीड वायुमण्डलीय निपीडाइतके असते

आसवन (distillation)

उकळत्या तरलापासून झालेल्या बाष्पाचे शीतन केल्यास, या बाष्पाचे सघनन्द्वारा तरलस्थितीत रूपान्तर करता येते. या क्रियेस आसवन (distillation) म्हणतात. तरलात सान्द्र द्रव्य विलयित असल्यास, या विलयनाचे आसवन करून सान्द्रापासून शुद्ध तरल वेगळे करता येते. उदाहरणार्थ, समुद्राच्या खाऱ्या पाण्यापासून आसवनाने शुद्ध पाणी मिळू शकते. तरलाच्या मिश्रणातील भिन्न तरलाचे भूयिष्ठ बाष्पनिपीड भिन्न असल्यास या मिश्रणाचे आसवन केल्याने जास्त बाष्प-निपीड असलेल्या तरलाचे बाष्पन जास्त प्रमाणात होऊन हे तरल अल्प बाष्पनिपीड असलेल्या दुसऱ्या तरलापासून वेगळे करता येते. तरलाच्या मिश्रणातील घटक वेगळे करण्याच्या ह्या रीतीस 'आंशिक आसवन' (partial distillation) असे म्हणतात. पाणी आणि सुषव यांचा मिश्रणापासून सुषव वर प्रमाणे वेगळा करतात. जारक आणि भूयाती यांच्या तरलस्थितीतील मिश्रणाचे अल्प तापावर आंशिक आसवन करून, भूयातिपासून तरलस्थितीतील जारक वाति शुद्ध स्थितीत वेगळा करता येतो. जारक वाति मोठ्या प्रमाणावर संग्रहित करण्यास वरील रीतीचा उपयोग करतात

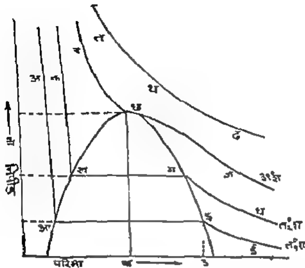
शीघ्र उद्वाष्पनाने होणारे शीतन

तरलाचे उद्वाष्पन शीघ्रतेने केल्यास, उद्वाष्पनाला लागणारा गुप्त उष्मा तरलापासून मिळतो. या कारणाने उरलेल्या तरलाचा ताप बराच न्यून होतो. एका पसरट पात्रात थोडा दक्ष ठेवून, त्यांत

पाण्याने भरलेले धातुपात्र ठेवावे. व्हान भान्याने (bellows) दक्षवर वायु प्रवाहित करून दक्षुचे शीघ्र उद्बाष्पन केल्यास, धातुपात्रातील पाण्याचे हिम झालेले आढळून येईल. तरलावरील वायुनिपीड चूषोदवाने अल्प करून तरलाचे उद्बाष्पन शीघ्रतेने करता येते. अशा शीघ्रउद्बाष्पनाने तरलाच्या सभोवारच्या वस्तूचे शीतन होते. दक्ष अथवा तरल स्थितीतील तिक्ताति (liquid ammonia) याच्या शीघ्र उद्बाष्पनाने पाण्याचे शीतन करून, पाण्यापासून हिम मोठ्या प्रमाणावर करतात. प्रांगार-द्वि-जारेय, तिक्ताति अशा एखाद्या विशिष्ट वातीच्या तरलाचे चूषोदवाने शीघ्र उद्बाष्पन करून प्रशीतकातील (refrigerator) वस्तूचा ताप बराच अल्प ठेवता येतो. प्रशीतकात योजलेल्या तिक्ताति इत्यादीच्या बाष्पस्थितीतील द्रव्याचे सपीडनाने पुन तरलस्थितीत रूपान्तर होऊन प्रशीतकातील शीतन क्रिया विशिष्ट अल्प तापस्थिति येईपर्यंत चालू असते.

वातीचें तरलन (liquefaction of gases)

फॅराडे या शास्त्रज्ञाने नीरजी (chlorine) वातीच्या तरलनाकरता योजलेली रीति सामान्यपणे पुढीलप्रमाणे होती. वायशी संपर्क येऊ न देता लाकडी कोळसा बऱ्याच उच्च तापापर्यंत तापविल्यानंतर तो शीत होत असता, त्याच्या संपर्कात येणाऱ्या वातीचें या कोळशात बऱ्याच प्रमाणावर प्रचूषण होते. यानंतर हा कोळसा पुन तापविल्यास, प्रचूषित झालेला वायु कोळशातून बाहेर पडतो. वरीलप्रमाणे वातीच प्रचूषण केलेला काही लाकडी कोळसा, क ख या भग्न नळीच्या एका टोकास ठेवतात. नळीची दोन्ही टोके बंद असून एक टोक आकृति १२-१० मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे द्यान मिश्रणात बुडविलेले असते. व टोकाकडील कोळसा तापवल्याने त्यातील प्रचूषित वाति बाहेर पडून क ख मधील या वातीचें निपीड बरेच वाढते. ख चा ताप पुरेसा अल्प असल्यास या उच्च निपीडावर



आ. १२–११

निपीड आणि परिमा याचा समतापावरील परिवर्तनांचा संबंध आकृति १२–११ मधील अ आ इ ई ह्याबिन्दुरेषेने दर्शविला आहे. वातीचे परिमानिपीड परिवर्तन बॉईलच्या स ता प. नि नियमाप्रमाणे होते हे बिन्दुरेषेच्या इई या भागावरून लक्षात येते. इ बिन्दूने दर्शविलेल्या स्थितीत वातीची परिमा न्यून केल्यास, वातीचे सघनन होऊन इ आ या रेषेने दर्शविल्याप्रमाणे आ येथे सर्व वातीचे सघनन होते, आणि हे सघनन होत असता वातीचे इ ऊ हे निपीड स्थिर असते वातीपासून सघननाने झालेल्या तरलाचे निपीडवर्धनाने होणारे अल्प परिमा परिवर्तन आ अ ह्या रेषेने दर्शविले आहे कखगघ हा त्याच वातिपुंजाचा जास्त तापस्थितीतील बिन्दुरेख आहे ग बिन्दूने दर्शविलेल्या जास्त तापावरील स्थितीत वातीच्या तरलनाला

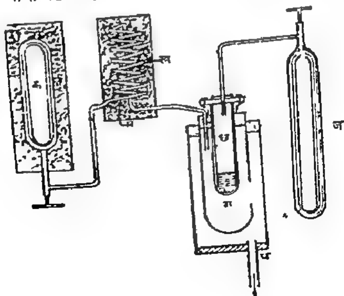
काष्ठा निपीड स्थितींतील एक धान्य ग्रुहाणूच्या परिमेस काष्ठा परिमा (critical volume) म्हणतात पुढील सारणीत काही वातींचे काष्ठा निपीड आणि काष्ठा ताप दिले आहेत

वाति			काष्ठा–ताप	काष्ठा निपीड (प्रमाप वाय-मण्डलीय निपीड हें एकक योजले आहे)
उद्‌जन	...	...	−२३९ ९° श.	१२ ८
जारक	...	...	−११८·८° श.	५०
भूयाति	...	...	−१४७° श.	३३ ५
वायु	...	...	−१४०° श.	३९
यानाति	...	...	−२६८° श.	२ २६
प्रागार–द्वि–जारेय		.	३११° श.	७३
शुल्वारि–द्वि–जारेय		...	१५५ ४° श.	७८ ९

वरील विवेचनाच्या साहाय्याने वाति आणि बाष्प यातील भेद पुढील प्रमाणे दर्शविता येईल काष्ठा तापापेक्षा जास्त ताप असलेल्या वातिस्थितीतील द्रव्यास 'वाति' ही संज्ञा योजावी आणि काष्ठा तापापेक्षा ताप न्यून असल्यास या वाति–द्रव्यास 'बाष्प' म्हणावे

जारक वातीच्या तरलनास योजलेल्या एका रीतीचे वर्णन पुढे दिले आहे. प्रागार द्वि-जारेयाचा काष्ठा ताप काष्ठतापापेक्षा थोडा जास्त असल्याने, अल्पशीतन करून आणि निपीड वाढवून प्रागार द्विजारेयाचे तरलन करतात. चूषादचाने (vacuum pump) अल्प निपीडस्थिति निर्माण करून या तरलाचे शीघ्र उद्‌बाष्पन करतात. उद्बाष्पनाला

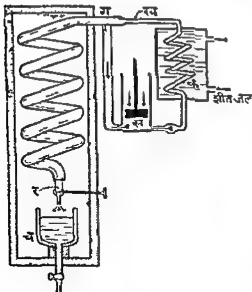
यावश्यक असणारा गुप्त उष्मा प्रांगार द्विजारेयाच्या तरलापासूनच मिळाल्यामुळे हे तरल सान्द्रस्थितीत येते. या सान्द्रात दस्तु मिसळून केलेल्या श्यान मिश्रणाचा ताप -८०°श. इतका अल्प असतो या श्यान मिश्रणात आकृति १२–१२ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे क रम्भाकार धातु-पात्र बुडविले असते व रम्भाकार पात्रातील दसुलेन्याचे (ethylene) तरलन होते तरलस्थितीतील हा दसुलेन्य श्यान-मिश्रणात बुडविलेल्या ख कुतलाकार नळीमार्गे ग नळीत येतो. ग मध्ये जोडलेल्या चूषोदचान दसुलेन्य तरलाचे शीघ्र बाष्पन होऊन ग चा ताप बराच अल्प होतो आणि ज मधील जारकाचे निपाड पुरेसे जास्त असल्यास, छ मध्ये येणाऱ्या जारक वायूचे तरलन होते.



आ १२–१२

याप्रमाणे एका वातीच्या तरलाचे उद्बाष्पन करून दुसरा वाति तरलस्थितीत आणण्यातील उत्तरोत्तर शीतन क्रिया स्पष्ट होईल.

सपीडीत (compressed) वाति सूक्ष्मरंध्रातून बाहेर येत असता या वातीचे निपीड बरेच अल्प केल्यास विशिष्ट तापस्थितीत या वातीचा ताप थोडा अल्प होतो या घटनेस 'ज्यूल-थॉमसनचा' 'निपीड-मोच शीतन प्रभाव' (Joule Thomson effect) ही संज्ञा आहे (या घटनेचे स्पष्टीकरण प्रस्तुत पुस्तकाच्या मर्यादेपलिकडे आहे) वायूच्या तरलनास योजलेल्या आधुनिक साधित्रात या घटनेचा उपयोग केलेला आहे बाहेरील वायु शुद्ध करून स म्पीडकास योग्य जुळणीनें मिळतो स सपीडकाच्या साहाय्याने या शुद्ध वायूचे निपीड २०० प्रमाप वायुमण्डलीय निपीडाइतके वाढवून तो वायु क या कुंतलाकार नळीतून प्रवाहित करतात (आकृति १२-१३ पहा) क नळी दयान मिश्रणात बुडविलेली असल्याने सपीडित स्थितीतील वायूचा ताप अल्प होतो सपीडकाला जोडलेल्या ग हद नळीत ख ही अरद नळी बसविलेली असते



आ १२-१३

ख नळींतून शीत वायु प्रवाहित होऊन, तो र रंध्रातून बाहेर पडतो. रंध्रातून बाहेर पडताना वायूचे निपीड बरेच अल्प झाल्यामुळे त्याचा ताप ख मधील वायूपेक्षा थोडा न्यून होतो अशा रीतीने, न्यून ताप झालेला वायू ग नळीमार्गे नपीडकाकडे ओढला जातो. ग नळीतील वायूचा ताप न्यून झाल्याने ख मधून येणाऱ्या वायूचा ताप पूर्वीपेक्षा थोडा न्यून होतो आणि र रंध्रातून बाहेर पडताना, या वायूचा ताप जास्त न्यून होतो जास्त न्यून ताप झालेला हा वायु ग मधून जाताना, ख मधून येणाऱ्या वायूचा ताप जास्तच न्यून करतो. अशा रीतीने ख मधून बाहेर येणाऱ्या वायूचा ताप क्रमाक्रमाने न्यून होत जातो ख मधून येणाऱ्या वायूचा ताप ज्या रीतीने पुरेसा अल्प झाल्यास अल्प ताप झालेल्या वायूचे र येथे होणाऱ्या विस्तरणाने आणखी थोडे जास्त शीतन होऊन वायूचे तरल व पात्रात सांचू लागते.

प्रश्न

(१) बुद्बुदन आणि उद्वाष्पन यांतील भेद स्पष्ट करा. बाह्य निपीडाचा बुद्बुदांकावर काय परिणाम होतो ?

(२) भूयिष्ठ बाष्प निपीडाच्या मापनाकरता उपयोगांत आणलेल्या भिन्न भिन्न रीतींचे स्पष्टीकरण करा.

(३) अननुविद्ध बाष्प आणि अनुविद्ध बाष्प यांतील भेद स्पष्ट करा

परीक्ष्य बाष्प अनुविद्ध स्थितींत आहे अथवा अननुविद्ध स्थितींत आहे हे ठरविण्यास आवश्यक असणाऱ्या सारणीचे वर्णन करा.

(४) समतापस्थितीत बाष्पाची परिमा आणि निपीड याचा संबंध दर्शविणाऱ्या बिन्दुरेखाच्या साहाय्याने वायूचा काष्ठाताप आणि त्याचे काष्ठानिपीड याचे स्पष्टीकरण करा.

काष्ठा तापापेक्षा जास्त ताप स्थितीतील बिन्दुरेखाचे वैशिष्टय स्पष्ट करा.

(५) वायूच्या तरलनास योजलेल्या आधुनिक रीतीचे वर्णन करा.

पारदस्तम्भावरील अनुविद्ध बाष्प आणि वायु याच्या मिश्रणाची परिमा १० घ. शि. मा. असून या मिश्रणाचे निपीड ७६ शि. मा आहे ताप अचल ठेवून मिश्रणाचे निपीड १३० शि मा पर्यंत वाढविल्यास मिश्रणाची परिमा निम्मी होते, यावरून अनुविद्ध बाष्पनिपीडाचे गणन करा.

★ ★ ★ ★

तेव्हा या वायूसंबंधी $\frac{\text{पु}_1}{\text{पु}_2}$ ह्या निष्पत्तीची अर्हा १ पेक्षा बरीच अल्प असते. $\frac{\text{पु}_1}{\text{पु}_2}$ या निष्पत्तीची अर्हा १ च्या जवळपास असल्यास, त्या वायूत जास्त प्रबाष्प सामावू शकत नाही. वायूच्या ह्या स्थितीत आपल्या शरीरावरील घामाचे बाष्पन लवकर होत नाही; म्हणून अशा दमट वातावरणात आपणास अस्वस्थता वाटते. याच्या उलट, $\frac{\text{पु}_1}{\text{पु}_2}$ या निष्पत्तीची अर्हा १ पेक्षा बरीच न्यून असल्यास या वायूत जास्त प्रबाष्प सामावू शकते; म्हणून शरीरावरील घामाचे बाष्पन शीघ्र होते. यामुळे अशा वातावरणातील वायू कोरडा आहे असे आपण म्हणतो. $\frac{\text{पु}_1}{\text{पु}_2}$ या निष्पत्तीला वायूचा 'सापेक्ष आक्लेद' (relative humidity) अशी संज्ञा आहे. आपले शरीरस्वास्थ्य वायूतील केवल आक्लेदापेक्षा वायूच्या सापेक्ष आक्लेदावर जास्त अवलंबून आहे.

वायूच्या कोणत्याहि प परिमेतील प्रबाष्पाचा पुंज पु' असल्यास,

$$\text{पु}' = \text{प} \times \text{पु}_1$$

पुरेच भरणार असलेल्या वायूच्या त्याच परिमेतील अनुषिक्त प्रबाष्पाचा पुंज पु'' असल्यास,

$$\text{पु}'' = \text{प} \times \text{पु}_2$$

$$\frac{\text{पु}'}{\text{पु}''} = \frac{\text{प} \times \text{पु}_1}{\text{प} \times \text{पु}_2} = \frac{\text{पु}_1}{\text{पु}_2}$$

$$\therefore \frac{पु_१}{पु} = \text{सापेक्ष आक्लेद}$$

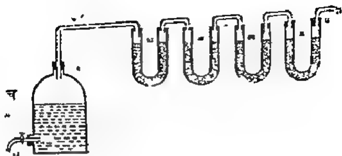
$$= \frac{\text{वायूच्या विवक्षित परिमेतील प्रबाष्पाचा पुंज, } (पु')}{\text{समताप आणि समपरिमा असलेल्या वायूतील अनुविद्ध प्रबाष्पाचा पुंज,} (पु'')}$$

सापेक्ष आक्लेद निरवयनात $\frac{पु'}{पु''}$ या निष्पत्तीचे निश्चयन करतात. सापेक्ष आक्लेदाची अर्हा प्रतिशत सख्येने दर्शविण्याचा प्रघात आहे. उदाहरणार्थ $\frac{पु'}{पु''}$ ची अर्हा $\frac{१}{५}$ असल्यास, सापेक्ष आक्लेद ($\frac{१}{५} \times १००$) = २० % आहे

वायुमण्डलीय आक्लेद मापनाला 'उन्दमिति' (hygrometry) आणि आक्लेद मापनाच्या साधित्राला 'उन्दमान' (hygrometer) अशा संज्ञा आहेत आक्लेद मापनात भिन्न भिन्न प्रकारची उन्दमानें उपयोगात आणतात यापैकी, काही उन्दमानांचे विवेचन येथे केले आहे

रसायनिक उन्दमान (chemical hygrometer)

ह्या उन्दमानांत क ख, ग आणि घ ह्या उर्ध्ववाहू नळ्या आकृति १३-१ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे एकास एक जोडलेल्या असून, ह्या नळ्यांत शुष्क चूर्णातु निरेय (calcium chloride) भरलेला असतो. या ऊर्ध्ववाहू नळ्यांच्या श्रेणीच्या एका टोकाला अगणारी घ नळी च चूषित्राला (aspirator) जोडलेली असते व चूषित्र हें यन्त्राच मोठ्या परिमेचे भाजपात्र असून त्यात पाणी



आ. १३-१

भरलेले असते. छ तोटीतून चूषिपात्रातील पाणी बाहेर पडू लागले म्हणजे वायुमण्डलीय निपीडाच्या क्रियेने वायुमण्डलातील वायु क, ख, ग, घ नळ्यांमार्गे आत शिरतो आणि पाणी बाहेर गेल्याकारणाने चूषिपात्रातील रिक्त झालेली परिमा हा आत येणारा वायु व्यापतो. या आत येणाऱ्या वायूची परिमा चूषिपात्राच्या परिमाअंकनावरून समजते. क, ख, ग नळ्यांमधून वायु जाताना नळ्यांतील शुष्क चूर्णातु नीरेय या वायूंतील प्रबाष्प पूर्णपणे शोषून घेतो. सपरीक्षेपूर्वी क, ख, ग, घ या नळ्यात शुष्क चूर्णातु नीरेय भरून, क आणि ग नळ्यांची अनुक्रमे प आणि फ टोके रबरानी बंद करून, क, ख आणि ग यांचा भार तुलेने निश्चित करतात. नंतर क, ख, ग, नळ्यांची श्रेणी घ नळीला जोडतात. क नळीचे प टोक उघडे ठेवून चूषिपात्राची छ तोटी उघडतात. चूषिपात्रात पुरेसा वायु आल्यानंतर क, ख, ग नळ्यांची श्रेणी घ नळीपासून वेगळी करून (प आणि फ टोके पुन रबराने बंद करून) या नळ्यांचा भार निश्चित करतात. सपरीक्षेच्या प्रारंभी आणि शेवटी घेतलेल्या या श्रेणीच्या भाराच्या भेदावरून च मध्ये आलेल्या वायूतील प्रबाष्पाच्या पुंजाची अर्हा समजते.

क, ख, ग मध्यें प्रवेश करण्यापूर्वी वायु पाण्यातून बुडबुड्याच्या रूपाने बाहेर पडेल अशी योजना केल्यास हा वायु समतापावर प्रवाष्पाने अनुविद्ध होतो. अशा प्रकारें प्रवाष्पानें अनुविद्ध झालेला वायु चूषित्राच्या साहाय्यानें क, ख, ग मधून प्रवाहित केल्यास, या नळपाच्या प्रारंभिक आणि अन्तिम भार निश्चयनावरून समताप स्थितीतील समान परिमेच्या वायुमधील अनुविद्ध प्रवाष्पाच्या p'' पुंजाचे गणन करता येते. यावरून, $\frac{p'}{p''}$ या निष्पत्तीनें दर्शविलेल्या वायूच्या सापेक्ष आक्लेदाचे गणन करतात

चूषित्रातील पाण्याच्या प्रवाष्पाचा ग नळीमधील शुष्क चूर्णातु नीरेयाशी संपर्क येऊ नये म्हणून च चूषित्र आणि ग नळी यांमध्ये घ नळी बसविली असते म्हणून या सपरीक्षेत नळपाच्या भार-निश्चयनांत घ नळीचा समावेश नसतो,

वरील उन्दमानाने सापेक्ष आक्लेदाचे केलेलें निश्चयन परिशुद्ध असते तथापि या निश्चयनास जास्त कालावधि लागतो. यापेक्षा जास्त सुलभपणे आणि अल्प कालावधीत सापेक्ष आक्लेदाचें निश्चयन बऱ्याच परिशुद्धतेने पुढीलप्रमाणे करता येतें

मागील प्रकरणात आपण पाहिलेच आहे की, प्रवाष्प अनुविद्ध स्थितीत नसल्यास समताप असताना या प्रवाष्पाची परिमा आणि त्याचे निपीड यांचा संबंध बॉईलच्या स. ता. प. नि नियमाने दर्शविता येतो हा संबंध वायूच्या अनुविद्ध स्थितीपर्यंत बॉईलच्या स. ता. प. नि नियमाने दर्शविता येतो असे मानल्यास, प्रवाष्पाची मात्रा ही प्रवाष्पाच्या निपीडाशी अनुपाती असते हे लक्षात येईल.

डाल्टनच्या आंशिक निपीड नियमांत दर्शविल्याप्रमाणे वायु आणि प्रवाष्पांच्या मिश्रणांतहि स्थिर तापस्थितीत प्रवाष्पाची घनता आणि निपीड अनुपाति असतात.

यावरून;

$$\frac{\text{पु}'}{\text{पु}''} = \frac{\text{वायूच्या विशिष्ट परिमेंतील प्रवाष्पाचा पुंज}}{\text{समताप समपरिमा असलेल्या वायूच्या अनुविद्ध स्थितीतील प्रवाष्पाचा पुंज}}$$

$$= \frac{\text{प्रवाष्पाची घनता, घ}_1 \times \text{वायूची परिमा}}{\text{प्रवाष्पाची अनुविद्ध स्थितीतील घनता, घ}_2 \times \text{वायूची परिमा}}$$

$$= \frac{\text{प्रवाष्पाची घनता, घ}_1}{\text{त्याच तापावरील अनुविद्ध प्रवाष्पाची घनता, घ}_2}$$

$$= \frac{\text{प्रवाष्पाचे प्रत्यक्ष निपीड, न}}{\text{समतापावर अनुविद्ध प्रवाष्पाचे निपीड, ना}}$$

$$\frac{\text{पु}'}{\text{पु}''} = \frac{\text{न}}{\text{ना}} = \text{सापेक्ष आर्द्रता}$$

वरील समीकाराच्या डाव्यापक्षाची अहीं रसायनिक उन्दमानाच्या उपयोगात वर्णिल्याप्रमाणे निश्चित करता येते. अनुविद्ध प्रवाष्पाचे भिन्न भिन्न तापावरील निपीड दर्शविणाऱ्या सारणीद्वारे कोष्ठतापावरील अनुविद्ध प्रवाष्पाचे ना निपीड समजते. वायूतील न निपीडाचे प्रत्यक्ष मापन करून $\frac{\text{न}}{\text{ना}}$ या निष्पत्तीची अहीं गणन

करता येते अशा रीतीने डाव्या आणि उजव्या पक्षांची गणना केल्यास या दोन पक्षांच्या वर्हा किंचित भिन्न आहेत असे दिसून आले आहे यावरून, अनुविद्ध स्थिति येईपर्यंत प्रवाष्पाची परिमा आणि निपीड याचा संबंध, बॉईलच्या रा सा प नि नियमान्वये दर्शविता येतो असे मानण्यात थोडी चूक आहे हे लक्षात येईल. तथापि, सापेक्ष आर्द्रतेच्या निरूपणात वरील अहातीत भेद उपेक्षणीय मानून या निष्पत्तीने सापेक्ष आर्द्रतेचे निरूपण करण्याचा प्रघात आहे

वायुमण्डलाचा ताप हा असून त्यातील प्रवाष्पाचे निपीड न आहे अशी कल्पना करू अनुविद्ध स्थितीतील प्रवाष्पाच्या निपीडाची वर्हा, न्यून तापावर न्यून होत असते, म्हणून ता° पेक्षा न्यून असलेल्या एखाद्या त° तापावर अनुविद्ध प्रवाष्पाचे निपीड न असणे शक्य आहे परीक्ष्य वायूचा ताप ता° तापापासून न्यून करित गेल्यास ही तापहानि स्थिर निपीडावर होते अर्थातच ही तापहानि होताना वायूतील प्रवाष्पाचे न निपीड स्थिर असते वायूचा ताप त° इतका आल्यावर, हा वायूतील प्रवाष्प अनुविद्ध स्थितीत येते यानंतर, या वायूत अल्प तापहानि झाल्यास अनुविद्ध स्थितीत असलेल्या प्रवाष्पाचे घनन होऊन शीत वायूचा स्पर्श असलेल्या मार्ड वस्तूवर दर्बिंदू (अवश्याय = dew) निर्माण होतात या स्थितीतील वायूच्या त° तापास अवश्यायांक - (dew point) ही संज्ञा आहे परीक्ष्य वायूचा न्यून झालेला ताप त° असताना त्यातील प्रवाष्प अनुविद्ध स्थितीत येते म्हणून न ही वर्हा त° तापावरील अनुविद्ध प्रवाष्पाच्या निपीडाइतकी असते हे ध्यानात घेऊन त° अवश्यायांक माहीत असल्यास भिन्न तापावरील प्रवाष्प निपीडाच्या कोष्टकावरून न निपीडाची वर्हा समजते यावरून

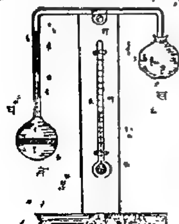
असणाऱ्या प्रवाष्पाच्या निपीडाशी न अहीं 'अवस्यायाका इतका ताप असताना अनुविद्ध प्रवाष्पाच्या निपीडाइतकी असते' असा वरील विवेचनाचा निष्कर्ष आहे.

$$\therefore \text{सापेक्ष आर्द्रता} = \frac{पु}{पु} = \frac{न}{ना} = \frac{\text{अवस्यायाक तापावरील अनुविद्ध प्रवाष्पाचे निपीड}}{\text{वायमण्डलाच्या तापावरील अनुविद्ध प्रवाष्पाचे निपीड}}$$

अवस्यायांकाच्या निश्चयनाने वायूच्या सापेक्ष आर्द्रतेचे निश्चयन करण्यास योजलेल्या उन्दमानास 'अवस्यायाक उन्दमान' ही संज्ञा आहे.

डानियलचें उन्दमान (Daniell's hygrometer)

या उन्दमानात क आणि ख हे काचेचे गोलाकार कन्द आकृति १३-२ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे ग नळीने जोडलेले असतात. क कन्दात दव असून त्यात घ हे पारदतापमान ठेवलेले असते. ख कन्दात आणि ग नळीत दव-बाष्प असून ख कन्दाभोवती पातळ वस्त्र अथवा कापूस गुंडाळून ठेवतात क कन्दाच्या मधल्या भागावर धातूच्या पातळ पत्र्याची चकचकीत पट्टी बसविलेली असते. ग नळी एका लाकडी स्थाणावर बसविलेली असते या स्थाणावर च हे एक पारदतापमान असून



आ. १३-२

या पारदतापमानाच्या साहाय्याने वायुमण्डलाच्या ता या प्रारंभिक तापाचे वाचन घेतात.

प्रथम ख भोवती गडाळलेल्या वस्त्रावर थोडा थोडा दक्ष ओततात. ओतलेल्या दक्षूचे उद्वाष्पन होऊ लागते आणि ह्या उद्वाष्पनास लागणारी गुप्त ऊष्मा ख कन्दामधून मिळतो, म्हणून ख कन्दाचा ताप न्यून होऊन त्यांतील दक्षूच्या बाष्पाचे तरलात परिवर्तन होऊ लागते आणि क मधील दक्षुबाष्प ख कन्दाकडे प्रवाहित होऊन क मधील दक्षुतरलाचे उत्तरोत्तर अधिक उद्वाष्पन होते व कन्दातील दक्षूच्या उद्वाष्पनाला लागणारा गुप्त ऊष्मा, क कन्दाबाहेरील वायूतून मिळून न ला सस्पर्शिता असणाऱ्या बाहेरील वायूचा ताप न्यून होत जातो ख कन्दावरील वस्त्रावर अल्प कालान्तराने थोडा थोडा दक्षु ओतल्यास, वर वर्णन केल्याप्रमाणे क कन्दाबाहेरील सस्पर्शित वायूचा ताप अधिकाधिक न्यून होत जातो क बाहेरील वायूचा ताप अवश्यायाका इतका न्यून होताच, न कन्दावरील चकचकीत धातुपट्टीवर दव (अवश्याय = dew) दिसू लागते धातुपट्टीवर दव दिसताच घ तापमानाचे वाचन घेऊन ख कन्दावर दक्षु टाकणे थांबवितात न आणि ख कन्दाचा ताप वायुमण्डलाच्या स्पर्शाने वाढू लागतो ताप वाढत असताना धातुपट्टी वरील दवाचे उद्वाष्पन होताच, घ पारदतापमानाचे पुन वाचन घेतात (वरीलप्रमाणे न कन्दाच्या धातुपट्टीवर दव दिसतेवेळी एक आणि दव नाहीसे होते वेळी एक अशी अनेक वाचनें घेतात. या वाचनाचे त° माध्य वाचन अवश्यायाकाची अर्हा दर्शविते वायुमण्डलीय ताप ता° असल्यास, त° आणि ता° या तापावरील अनुविद्ध प्रबाष्पाच निपीड सारणीवरून समजते निपीडाच्या अर्हा अनुक्रमे न आणि ना असल्यास, $\frac{न}{ना}$ = सापेक्ष आर्द्रत्व

सापेक्ष आक्लेदाच्या निश्चयनाची वरील रीत खाली दिलेल्या उदाहरणामुळे जास्त स्पष्ट होईल. वायुमण्डलाचा ताप १६° श. असून या वायुचा अवश्यायांक ९° श. आहे अशी कल्पना करू. अनुविद्ध प्रबाष्पनिपीड आणि ताप याच्या सारणीवरून १६° श. आणि ९° श. या तापावर अनुविद्ध प्रबाष्पनिपीड अनुक्रमे १३·५५ सि. मा. आणि ८·६० सि. मा. आहे. म्हणून $\frac{८·६०}{१३·५५}$ = सापेक्ष आक्लेद.

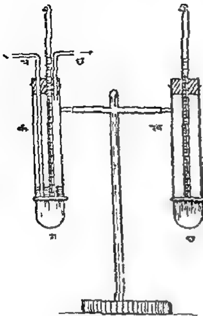
सापेक्ष आक्लेद प्रतिशत सख्येने पुढील प्रमाणे दर्शविता येतो.

$$\frac{८·६०}{१३·५५} \times १०० = ६३·४\%$$

वरील उन्दमानाच्या उपयोगात काही अनुषंगिक विभ्रम संभवतात. घ पारदतापमानाचा कन्द आणि क बाहेरील वायु या दोहोत मंदवाहक काच आणि दव तरल असल्यामुळे, बाहेरील वायुचा ताप आणि घ तापमानाचा ताप हे भिन्न असतात. यामुळे घ तापमानाचे स° तापवाचन हे वास्तविक अवश्यायांकापेक्षा थोडे भिन्न असते. ख कन्दावरील दवच्या उद्‌वाष्पनाने सभोवारच्या वायूत दक्षवाष्प मिसळून, या वायूच्या अवश्यायांकाचे अल्प परिवर्तन होण्याची शक्यता असते तसेच, दक्षु ओतणाऱ्या व्यक्तीच्या श्वासोच्छ्वासाने या साधित्राच्या सभोवारच्या वायूत जास्त प्रबाष्प येते, कारण मनुष्याच्या उच्छ्वासाने बाहेर सोडलेल्या वायूत प्रबाष्पाचे प्रमाण बरेच असते. या साधित्रात ख कन्दावरील दक्षुच्या उद्‌वाष्पनाचे नियमन करता येत नसल्याने दव दिसताच तापवाचन घाईनेच घ्यावे लागते.

रेनोचे उन्दमान (Regnault's hygrometer)

रेनो या शास्त्रज्ञाने योजलेले उन्दमान बरेच निर्दोष आहे.



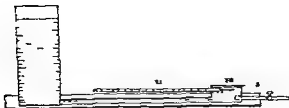
आ. १३–३

दोन्ही टोकें उघडी असलेल्या क आणि ख रुंद नळयांच्या खालच्या भागाला अनुक्रमे ग आणि घ ही चांदीची पातळ टोपणें बसविलेली असतात आणि वरच्या भागाला त्वक्षा बसविलेल्या असतात (आकृति १३–३ पाहा). या नळयांत पुरेसा दक्षु टाकतात. क आणि ख नळयातील दक्षूत कन्द बुडेल अशा रीतीने एकेक पारद तापमान बसविलेलें असतें. क नळीच्या त्वक्षेत च आणि छ नळया बसविल्या असून, च नळीचें टोक क मधील दक्षूत बुडलेलें असते आणि छ नळी आखूड असून तिचे टोक दक्षुपृष्ठाच्या बरेच वर असते. ग आणि घ टोपणें आणि क मधील तापमान काही अंतरावर ठेवलेल्या लहान दुरेक्षातून (telescope) पाहतात. छ नळीचें बाहेरील टोक चूषित्राला जोडून या चूषित्रातून पाणी बाहेर जाऊ देतात. अर्थातच, बाहेरील वायु च नळीमार्गें क मधील दक्षूतून बुडबुडयाच्या रूपानें बाहेर येऊन छ मार्गें चूषित्रात जातो. वायूच्या बुडबुडयानी क मधील दक्षूचें शीघ्र उद्बाष्पन होतें या उद्बाष्पनास लागणारा गुप्त ऊष्मा ग सभोवताल्च्या वायूतून मिळतो आणि ग ला सस्पर्शित असलेल्या वायूचा ताप न्यून होत जातो वायूचा ताप अवस्थायाका इतका न्यून होताच

ग टोपणावर दव दिसू लागतें. ग आणि घ टोपणाचे पृष्ठ सारखेंच चकचकीत असल्यानें, दव जमतांक्षणींच ग चा पृष्ठ घ च्या पृष्ठाच्या तुलनेंत थोडासा मन्द दिसू लागतो. याच क्षणीं क मधील तापमानाचें दूरेक्षातून वाचन घेतात आणि चुचिन्नातून' आधाग पाण्याचा प्रवाह थांबवितात. ह्यामुळे, क मधील दसूचें उद्वाष्पनहि थांबतें आणि ग टोपणाचा ताप वाढू लागून ग वरील दव नाहीसें होताच क मधील तापमानाचें पुनः दूरेक्षातून वाचन घेतात. अनेक तापवाचनाच्या माध्य अङ्कें गणन करून अवस्थायाकाचें निश्चयन करतात. या उन्दमानात ग पातळ टोपण चांदीतारच्या सुवाहकाचें असतें आणि दसूतून वायूचे बुडबुडे जात असल्या कारणानें क मधील दसूचा ताप सर्वत्र सारखा असतो. यामुळें, ग टोपणाबाहेरील सस्पर्शित वायु आणि ग मधील दसू या दोहोंचा ताप समान असल्याने अवस्थायांक आणि क मधील तापमानाचें वाचन यांत भेद नसतो. दूरेक्षामधून वाचनें घेणारा निरीक्षक (observer) या साधित्रापासून काही अन्तरावर असल्याने त्याच्या श्वासोच्छ्वासाचा साधित्राजवळील वायूच्या सापेक्ष आर्द्रतेवर परिणाम होत नाहीं. या उन्दमानात चुचिन्नातून बाहेर पडणाऱ्या पाण्याचा प्रवाह नियमित करून दसूच्या उद्वाष्पनाची क्रिया नियमित करता येते

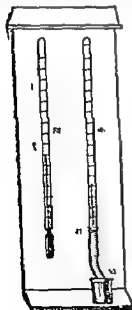
डाइनचें उन्दमान (Dine's hygrometer)

ह्या उन्दमानातील क धातूपात्रात हिमखण्ड आणि पाणी यांचें मिश्रण भरलेलें असतें. या उन्दमानाचें रेखाचित्र आकृति १३-४ मध्यें दर्शविलें आहे. क मधील शीत पाण्याचा प्रवाह ख या चकचकीत पातळ धातूच्या पत्र्यावरून जाऊन ग तोटीने बाहेर पडतो. या शीत पाण्याच्या प्रवाहाने ख चा वरील पृष्ठ आणि त्याला स्पर्शित असलेल्या वायू याचा ताप न्यून होतो. ख पृष्ठावर दवबिन्दू दिसू लागताच ख पृष्ठाला स्पर्शित ठेवलेल्या घ तापमानाच्या साहाय्यानें



आ १३–४

अवस्थांतराचे (ताप) वाचन घेता येते ख या धातुपट्टीच्या स्थानी पातळ काळ्या काच पट्टीची योजना करण्याचा प्रघात आहे



आ १३–५

आर्द्र आणि शुष्क तापमानें (wet and dry bulb thermometers)

आर्द्र आणि शुष्क तापमानांच्या साहाय्याने सापेक्ष आर्द्रतेचे गणन करता येते आकृति १३–५ मध्ये दर्शविलेली क आणि ख ही दोन सारखी तापमाने असून क च्या कंदाभोवती कापसाच्या वस्त्राचा लहान तुकडा गुंडाळून त्याचे अग्र टोक घ या लहान पात्रातील पाण्यात बुडविलेले असते केशाकर्षणाने घ मधील पाणी वस्त्रामधून वर चढते म्हणून क कंदा भोवतीचे वस्त्र नेहमी ओले असते वायुमण्डलातील प्रवाष्प अनविद्ध प्रवाष्पापेक्षा बरेच अल्प असल्यास आर्या वस्त्रातील पाण्याचे उत्बाष्पन शीघ्रतेने

होऊन, ख च्या तापापेक्षा क चा ताप बराच न्यून होतो. याच्या उलट, अनुविद्ध स्थिती येण्याइतकें पुरेसें प्रवाष्प वायूत असल्यास पाण्याचें उद्बाष्पन अल्प प्रमाणात होऊन, ख आणि क याच्या तापात फारसे अंतर नसतें. ख चा वायुमण्डलीय ताप, क आणि ख तापमानाच्या वाचनातील भेद आणि वायुमण्डलाच्या या स्थितीतील इतर उन्दमानाच्या साहाय्याने निश्चित केलेला सापेक्ष आर्द्रता या तिहींची एक सारणी केलेली असते. क आणि ख या तापमानाची वाचनें घेऊन वरील सारणीद्वारें वायूच्या सापेक्ष आक्लेदाची अर्हा समजते.

प्राण्यांच्या केसांच्या लांबीत वायूतील आर्द्रतेनें परिवर्तन होतें. धावन क्षारात (washing soda) केस धुवून त्याच्या लांबीतील आर्द्रतेमुळे होणारें परिवर्तन योग्य जुळणीनें वर्तुळ श्रेणीवर मापता येते. ही वर्तुळ श्रेणी प्रथम दुसऱ्या उन्दमानाच्या साहाय्यानें सापेक्ष आक्लेदात मापन केलेली असते.

आर्द्रवायूचा पुंज निश्चयन

निरनिराळ्या सपरीक्षात आर्द्र वायूच्या पुंजाचें गणन करणें आवश्यक असतें. हें गणन पुढील प्रमाणे करतात.

त° श. ताप असलेल्या एका आर्द्र वायूचे संपूर्ण निपीड ना असून त्यातील प्रवाष्पाचें निपीड न आहे अशी कल्पना करू. प्र. ता. नि. स्थितीत कोरड्या वायूची घनता ०·००१२९ धान्य प्रति घन शि. मा. असते. त° श. ताप आणि प घन शि. मा. परिमा असलेल्या कोरड्या वायूचें निपीड डाल्टनच्या आंशिक निपीड नियमान्वयें (ना−न) इतकें असते. म्हणून, प्र. ता. नि. स्थितीतील कोरड्या वायूची परिमा,

$$प_0 = \frac{प\,(ना - न) \times २७३}{७६ \times (२७३ + त)} \text{ घन शि. मा.}$$

प घन. शि. मा आर्द्र वायूतील कोरड्या वायूचा पुंज,

$पु_{वा}$ = प. × ऋ. ता. नि. वरील कोरड्या वायूची घनता

$$= \left[\frac{प\,(ना-न)}{७६} \times \frac{२७३}{(२७३+त)} \times ०\cdot००१२९ \right] \text{धान्य.}$$

ताप, निपीड आणि परिमा या राशि समान असताना प्रबाष्प आणि कोरडा वायू यांच्या पुंजाच्या निश्चयनावरून असे दिसून आले आहे की, प्रबाष्पाची घनता त्याच स्थितीतील कोरड्या वायूच्या घनतेच्या ०·६२ पट असते. प घ. शि. मा. आर्द्र वायूतील प्रबाष्पाची त°ता. तापावरील परिमा प घ. शि. मा असून त्याचे निपीड न आहे.

प परिमा, त ताप आणि न निपीड असलेल्या वायूची ऋ. ता. नि स्थितीत परिमा $प_{०}^{१}$ असल्यास

$$प_{०}^{१} = \frac{प \times न \times २७३}{७६ \times (२७३ + त)} \text{ घ. शि. मा.}$$

∴ प्रबाष्पाचे पुंज, $पु_{प्र}$ = $प_{०}^{१}$ × प्रबाष्पाची ऋ. ता. नि वरील घनता

$$= प_{०}^{१} \times ०\cdot००१२९ \times ०\cdot६२$$

$$= \frac{प \times न \times २७३}{७६ \times (२७३+त)} \times \cdot००१२९ \times \cdot६२ \text{ धान्य}$$

म्हणून प घ. शि. मा. आर्द्रवायूचा संपूर्ण पुंज,

$$= पु_{वा} + पु_{प्र}$$

$$= \left\{ \frac{\text{प (ना}-\text{न) २७३}}{\text{७६} \times (\text{२७३}+\text{त})} \times \cdot\text{००१२९} \right.$$

$$\left. + \quad \frac{\text{प} \times \text{न} \times \text{२७३}}{\text{७६} \times (\text{२७३}+\text{त})} \times \cdot\text{००१२९} \times \text{०·६२} \right\}$$

वायुमण्डलांतील प्रवाष्पाचें संघनन

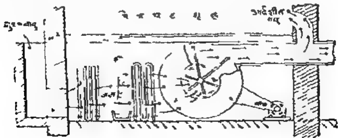
वायुमण्डलाचा ताप अवदर्यायोकापेक्षा न्यून झाल्यास त्यातील काही प्रवाष्पाचे द्रवात रूपान्तर होतें हें आपण उष्मानाचें विवेचन करताना पाहिलेच आहे. हिवाळ्यात वायूचा ताप अल्प होऊन त्यातील प्रवाष्पाचें सूक्ष्म द्रवबिंदूत सघनन होतें. भूपृष्ठाजवळील वायूत असें सघनन झाल्यास, या सूक्ष्म जलकणाच्या समूहास 'धुकें' म्हणतात वायूत सूक्ष्म धुलिकण असल्यास, प्रवाष्पाचे वरीलप्रमाणें सघनन बरेंच सुलभतेने होते. थंड प्रदेशातील मोठ्या नगरात हिवाळ्यात धुकें वारंवार पडतें याचें कारण या नगरातील वायूत असंख्य धुलिकण असतात. आपल्या देशातहि हिवाळ्यात सकाळी थोडा वेळ धुकें असतें

वायुमण्डलातील आर्द्रवायू वर जात असताना, निपीड न्यून होऊन त्याची परिमा वाढते आणि ताप न्यून होतो. आर्द्र वायूचे असे शीतन झाल्याने त्यातील प्रवाष्पाचें सूक्ष्म कणात सघनन होते वायुमण्डलाच्या वरच्या भागातील ह्या सघनित प्रवाष्पराशीला आपण 'ढग' म्हणतो समुद्रावरील उष्णवायूत प्रवाष्प बरेंच असते आणि हा वायु भूमीवरील वायूत मिसळून त्याचें शीतन होताना त्यातील प्रवाष्पाचे ढग बनतात. ढगातील सघनित प्रवाष्पाची घनता वाढून त्यातील पाणी भूमीवर पावसाच्या रूपाने पडतें. ढगातील सघनित प्रवाष्पाचा ताप अधिशीतनाने ०° च पेक्षा न्यून

झाल्यास, पाण्याचे थेंब पृथ्वीवर पोहचण्यापूर्वीच त्याचे हिमखण्डात रूपान्तर होऊन गाराचा पाऊस पडतो. शीत कटिबधात आणि त्या जवळील प्रदेशात ढगातील सघनित प्रबाष्प, हिमाच्या रूपाने भूपृष्ठावर पडते.

सान्द्रस्थितीतील प्रागार द्विजारेयाच्या साहाय्याने ढगातील सघनित प्रबाष्पाचे अधिशीतन करून कृत्रिम पर्जन्य उत्पन्न करण्याच्या शास्त्रज्ञाच्या प्रयत्नास थोडे यश मिळाले आहे.

काही उद्योग–स्थानातील (places of industry) वायूत आर्द्रतेचे प्रमाण सतत स्थिर ठेवणे अवश्य असते. उदाहरणार्थ कापसाचे सूत काढताना पाण्याचे तुषार वायूत उडवून भोवतालचा वायू प्रबाष्पाने अनुविद्ध करतात, कारण दमट वायूत सुताला जास्त पीळ देता येतो. आपल्या शरीरस्वास्थ्याकरता वायूचा ताप आणि त्यातील आर्द्रता ही विशिष्ट प्रमाणातच असणे हितकारक असते. वायूचा ताप आणि आर्द्रता याचे नियमन करण्याची आवश्यकता आज सुधारलेल्या समाजास पटली आहे. वायूतील धूलिकण आणि प्रागार द्विजारेय काढून टाकून त्या वायूचा ताप आणि आर्द्रता एका



विशिष्ट मर्यादेतच असावी अशी योजना वात्यावस्थापन सहतीच्या (air conditioning system) साहाय्याने करतात. अशा प्रकारच्या संहतीचे रेखाचित्र आकृति १३-६ मध्ये दर्शविले आहे. वरील प्रकारच्या साधित्राने मानवी जीवनास जास्त हितकारी केलेला वायु आधुनिक नाट्यगृहें, चित्रपटगृहें इत्यादींच्या निरनिराळ्या भागात खेळविला जातो.

प्रश्न

(१) सापेक्ष आर्द्रतेची व्याख्या द्या. रैनोच्या उत्क्रमानाचे वर्णन देऊन या उपकरणाच्या साहाय्यानें केलेल्या सापेक्ष आर्द्रतेचे गणन जास्त परिशुद्ध का असतें ते सविस्तर सांगा.

(२) आर्द्र आणि शुष्क तापमानाच्या साहाय्याने सापेक्ष आर्द्रतेची अर्हा कशी निश्चित करतात ते लिहा.

(३) प्रवाष्पाने अनुविद्ध असलेल्या जारक वातीची परिमा २०० घन सि मा असून या आर्द्रवायूचे निपीड ७५ सि मा. आहे आणि या वातीचा ताप १५° श. आहे. १५° श. सार असताना अनुविद्ध प्रवाष्पाचे निपीड १२.७ मि. मा. असल्यास या मिश्रणातील कोरड्या जारेय वातीची ऋ. ता. नि. स्थितीतील परिमा किती असावी ?

(४) २७ प्रस्थ परिमेचा वायु प्रवाष्प शोषण करणाऱ्या नळ्यातून प्रवाहित केल्यानंतर असे आढळून आले कीं, नळ्याचा भार ०.२५५ धान्य वाढला वायुमण्डलाचा ताप ३०° श. असल्यास सापेक्ष आर्द्रतेची अर्हा काढा (३०° श तापावर जलाचे मूर्छित बाष्प निपीड ३१.५ सि. मा आहे).

(५) एका विशिष्ट तापावर ५०० घ. शि. मा. वाति प्रवाष्पाने अनुविद्ध आहे. ह्याच तापावर अनुविद्ध प्रबाष्प निपीड १५ सि. मा. असून आर्द्र वायूचे निपीड ७९·५ शि. मा. आहे. समतापस्थितीत वाति आणि प्रबाष्प यांच्या मिश्रणाची परिमा अर्धी केल्यास, परिणामी निपीड किती होईल ?

★ ★ ★ ★

प्रकरण १४

ऊष्म्याचें स्वरूप

ऊष्मा मिळाल्याने ताप वाढून वस्तूची परिमा वाढते; विशिष्ट तापस्थितीत ऊष्मा मिळाल्यास साद्राचे तरलन होणे अथवा तरलाचे बाष्पन होते इत्यादी घटनांचे मागील प्रकरणात विवेचन केले आहे ऊष्मा मापनाचेहि विस्तृत विवेचन मागील काही प्रकरणात केलेले आहे तथापि येथपावेतो ऊष्म्याचे स्वरूप काय असावे या विषयी फारच थोडी चर्चा केली आहे

या प्रकरणात ऊष्म्याच्या स्वरूपाविषयी आधुनिक सपरीक्षेने सिद्ध झालेल्या अनुमानाचे विवेचन करून ऊष्मा हें ऊर्जेचे एक स्वरूप आहे हा निष्कर्ष सिद्धांतरूपात दर्शविला आहे या विवेचनाच्या अनुषगाने वातीसबधी काही घटनांचे स्पष्टीकरणहि या प्रकरणात केले आहे

ताप प्रवेगिकीचा पहिला नियम

१९ व्या शतकाच्या प्रारंभापर्यंत ऊष्मा हे एक प्रवाही द्रव्य असावे अशी कल्पना शास्त्रीय जगतात प्रसृत असून या प्रवाही द्रव्यास 'उप द्रव' (caloric) ही सज्ञा दिलेली होती वाति आणि तरल भूतद्रव्यें ज्या प्रमाणे उच्चस्थानावरून नीच स्थानाकडे प्रवाहित होतात त्याचप्रमाणे जास्त ताप असलेल्या वस्तूतून न्यून ताप असलेल्या वस्तूत उपद्रव्य प्रवाहित होणे आणि न्यून ताप असलेल्या वस्तूचा ताप वाढतो असे वस्तूच्या ताप-परिवर्तनाचे स्पष्टीकरण त्या काळात करण्यात येत असे.

उपद्रव्याला भार असावा किंवा ते भारहीन असावे, या विषयी

निरनिराळ्या कल्पना होत्या. काऊंट रम्फोर्ड हा अमेरिकन गृहस्थ बव्हेरिया देशातील शतघ्नीच्या निर्मितीच्या कार्यावर नियुक्त होता. (काऊंट रम्फोर्ड ही पदवी मिळण्यापूर्वी ह्या गृहस्थाचे नाव बेंजामिन थॉमसन होते) ह्या गृहस्थाने ऊष्मा प्राप्त होणाऱ्या घटनाचा मूलगामी अभ्यास केला (इसवी सन १७९८). रम्फोर्डने सपरीक्षेने सिद्ध केले की वस्तूचा ताप बराच वाढल्याने त्यातील ऊष्माराशी वाढली तरी वस्तूच्या भारात परिवर्तन झालेले दिसत नाही. यावरून उपद्रव्याला भार नसावा हे स्पष्ट झाले.

छिद्रकाच्या साहाय्याने शतघ्नीच्या रम्भात विवर करताना बराच ऊष्मा उत्पन्न होतो. या घटनेचे कारण असे देण्यात येई की शतघ्नीला छिद्रकाच्या साहाय्याने विवर करताना काही धातुद्रव्याचे चूर्ण होते आणि असे चूर्ण होताना, धातूतील ऊष्मा ओले वस्त्र पिळून पाणी काढल्याप्रमाणे धातूतून बाहेर टाकला जातो. वरील कल्पना सत्य मानल्यास समतापस्थितीत धातूचा खड आणि धातुचूर्ण यातील ऊष्माराशी भिन्न असाव्यात असे मानावे लागते धातुखड आणि धातुचूर्ण याचा आपेक्षिक ऊष्मा समान असतो असे रम्फोर्डने दाखविले. म्हणजे समान पुंज असलेला धातुखड आणि धातुचूर्ण याचा ऊष्मा भिन्न भिन्न तापक्षेत्रात साम्याच प्रमाणात वाढतो यावरून एका विशिष्ट तापावर चूर्ण करताना धातूतील ऊष्माराशी न्यून व्हावी ही कल्पना तितकीशी ग्राह्य वाटत नाही. विवर पाडण्याच्या क्रियेत बोथट छिद्रक (blunt borer) वापरल्यास धातूचे चूर्ण बऱ्याच अल्प प्रमाणात होते आणि (१) छिद्रकाची क्रिया दीर्घकाळ चालू राहिल्यास ऊष्माराशीची अर्हा वरीच वाढविता येते नसेच, (२) जितक्या शीघ्रतेने छिद्रकाची सघर्ष-क्रिया करावी तितक्याच शीघ्रतेने ऊष्माराशीची प्रचिती येते, असे रम्फोर्डला आढळून आले. पूर्वीच्या तर्कपद्धतीचा अवलंब केल्यास धातूच्या अल्प-

पुंजाचे चूर्ण करून अपरिमित ऊष्मा उत्पन्न होऊ शकतो असे मानण्याची आपत्ति येते छिद्रक फिरविण्यात संघर्षबलाविरुद्ध कर्म करताना यांत्रिक ऊर्जेचा जितक्या वेगाने व्यय होतो तितक्याच वेगाने ऊष्म्याची प्रचिती येते यांत्रिक ऊर्जा, आणि ऊष्मा यांचा हा संबंध लक्षात घेतल्यास यांत्रिक-ऊर्जेचे रूपांतर होऊन ऊष्मा मिळतो असे तर्काला पटणारे ऊष्मा स्वरूपाविषयीचे अनुमान करता येईल. ऊष्मा हा गति-ऊर्जेचे एक स्वरूप असावे असे अनुमान रम्फोर्डने केले यानंतर सर हम्फ्रे डेव्ही या आंग्ल शास्त्रज्ञाने दोन हिमखंड परस्परावर घासून हिम पूर्णपणे वितळण्याइतका ऊष्मा उत्पन्न होतो असे सप्रयोगाने सिद्ध केले. हिमाच्या तरलनाला लागणारा ऊष्मा शीत हिम दाबून किंवा पिळून हिमातूनच मिळतो असे मानणे जरा चमत्कारिक वाटते यापेक्षा हिमखण्ड परस्परावर घासताना संघर्ष बलाविरुद्ध व्यय झालेल्या यांत्रिक ऊर्जेचे रूपांतर ऊष्म्यात होऊन या ऊष्म्याने हिमाचे पाणी होते असे अनुमान जास्त समुक्तिक वाटते ऊष्मा आणि यांत्रिक ऊर्जा यासंबंधी आपणास परिचित अशा काही घटनांचा उल्लेख येथे करणे अप्रासंगिक होणार नाही तळहात एकमेकावर घासून हातास थोडा ऊष्मा मिळतो या घटनेचा आपण थंडीच्या दिवसात उपयोग करतो काही वन्य जाती विशिष्ट जातीची लाकडे एकमेकावर घासून विस्तव उत्पन्न करतात आगपेटीची काडी पेटीच्या विशिष्ट पृष्ठावर घासल्याने काडीच्या टोकावरील ज्वालाग्राही मिश्रण पेट घेते संघर्ष आणि ऊष्मा यांचा संबंध असलेल्या इतर घटनांचे स्पष्टीकरण हि आपणास यावरून सुचेल

संघर्ष बलाविरुद्ध व्यय झालेली यांत्रिक ऊर्जाराशी आणि त्यापासून मिळालेली ऊष्माराशी या दोहोंचे परिशुद्ध मापन करून यांत्रिक ऊर्जा आणि ऊष्मा यांच्या परस्पर रूपांतराचा ईयत्तात्मक

(quantitative) स्वरूपाचा स्थिर संबंध जूल या आंग्ल शास्त्रज्ञाने भिन्न भिन्न संपरीक्षाद्वारे निश्चित केला (इसवी सन १८४८).

जूलने असे दाखविले की ज्या घटनात यांत्रिक ऊर्जेचा व्यय होऊन ऊष्म्याची प्रचिती येते त्या सर्व घटनात व्यय झालेल्या यांत्रिक ऊर्जेची अर्हा कृ असून यापासून मिळालेल्या ऊष्माराशीची अर्हा ऊ असल्यास, $\frac{कृ}{ऊ}$ या निष्पत्तीची अर्हा स्थिर असते. ही स्थिर अर्हा या ने दर्शविल्यास,

$$\frac{कृ}{ऊ} = या \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad स.\ १४–१$$

ऊर्जा-स्थिरतेच्या सिद्धाताप्रमाणे वरील ऊ ऊष्माराशीच्या व्ययाने (या × ऊ) एवढी यांत्रिक ऊर्जा मिळणे अवश्य आहे.

ऊष्माराशी आणि यांत्रिक ऊर्जा यांच्या परस्परपरिवर्तनाच्या वरील नियमास 'ताप प्रवेगिकीचा (thermodynamics) पहिला नियम' म्हणतात

$\frac{कृ}{ऊ}$ या निष्पत्तीच्या स्थिर अर्हेला पुढील अर्थ देता येईल

कल्पना करू की $कृ_१$ इतक्या यांत्रिक ऊर्जेच्या व्ययाने १ उप ऊष्मा मिळतो

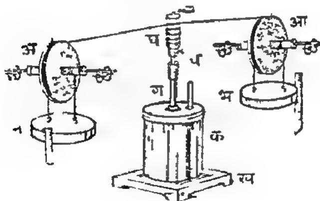
$$\therefore \quad \frac{कृ_१}{१} = या, \qquad \therefore \quad कृ_१ = या$$

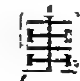
म्हणजे या अर्हा असलेल्या यांत्रिक उर्जेचा व्यय होऊन १ उप ऊष्मा मिळतो १ उप ऊष्माराशीचा या हा 'यांत्रिक समार्ह' (mechanical equivalent) आहे असे म्हणता येईल या ही राशि ऊष्म्याचा यांत्रिक समार्ह आहे अशी भाषा रूढ आहे.

जूलनें या ह्या स्थिराकाची अर्हा अनेक परिशुद्ध सपरीक्षावरून निश्चित केली. जूलने योजलेल्या अनेक सपरीक्षांपैकी एका सोप्या सपरीक्षेचे विवेचन येथे केले आहे.

ऊष्म्याच्या यांत्रिक समार्हाचें निश्चयन

क उपमान ख या कुसवाहक स्थानावर बसविलेले असते (आकृति १४–१ पाहा.) उपमानाच्या झाकणातून जाणाऱ्या मन्थन-दंडाचें खालचें टोक उपमानाच्या तळावरील ल्हान नळीत बसविलेलें असते. मन्थनदण्डाचें वरचें टोक अवश्य तेव्हा च खिळीद्वारे घ रमाला जोडता येते. या रमाच्या एका व्यासाच्या दोन टोकांना बांधलेल्या दोन वळकट दोऱ्या अ आणि आ या आकृतीवरून खाली मोडलेल्या





आ १४–१

असतात या दोन्याच्या खालच्या टोकाला पु मा समान पुजाचे भ, भ भार बांधलेले आहेत च खीळ काढून घेऊन आणि घ रम्भ योग्य दिशेने फिरवून भ भार वर उचलतात नतर च खीळ बसवून घ रम मोकळा सोडताच भ भाराच्या अधोगत स्थानातराने घ रम्भ आणि त्याबरोबर मन्थनदण्ड परिभ्रमित होतो भाराचे अधोगत विस्थापन छ असल्यास दोन भाराच्या (२×पु×भू×छ) या स्थिति-ऊर्जेचा उपमानातील पाणी घुसळण्यात व्यय होऊन पाण्याचा ताप वाढतो भार भूमीशी पोचताच च खीळ काढून घेऊन घ रम फिरवून भार वर उचलतात च खीळ बसवून पुन भ भार खाली येताना वरील प्रमाणेच स्थिति-ऊर्जेचा पाणी घुसळण्यात व्यय होतो अशा प्रकारे भ भार स वेळा खाली येऊन उपमान आणि त्यातील पाणी याचा ताप त° दा वाढल्यास,

२×पु×भू×छ ×स = या×ज×त

वरील समीकरणात उपमान आणि त्यातील पाणी याचा जलसमाई ज आहे

वरील समीकरणातील राशीच मापन करून या ह्या स्थिराकाच गणन करता येते परिशुद्ध गणनात जूलने पुढील प्रमाणे शोधन केले

(१) भूमीपाशी भार काही प्रवेगाने पावतात त्यावेळी त्यांतील गति-ऊर्जेस रूपान्तर होऊन झालेला ऊष्मा उपमानास न मिळतो त्या भारास आणि बाहेरील भूमीसच मिळतो भाराची ही गति-ऊर्जा त्याच्या व्यय झालेल्या स्थिति-ऊर्जेचा एक भाग असल्याने (२ स पु छ भू−स पू व²) इतक्याच ऊर्जेचा रूपान्तरित ऊष्मा उपमानास मिळतो यात वे हा भूमीजवळचा भाराचा प्रवेग आहे

(२) आकृति इत्यादि उपमानाच्या बाहेरील भागातील घर्षण बलाविरुद्ध व्यय झालेल्या ऊर्जेचा ऊष्मा उपमानास मिळत नाही

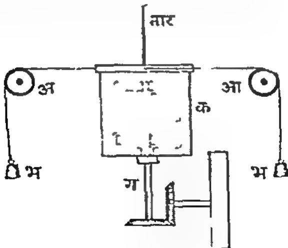
(३) सपरीक्षेच्या कालावधीत विकिरण इत्यादि क्रियांनी उष्मानातील काही ऊष्मा क्रमावार सक्रामित होतो उष्मानातील काही ऊष्मा अशा प्रकारे सक्रामित झाला नसता तर प्रत्यक्ष वाचलेल्या तापवर्धनापेक्षा उष्मानाचे तापवर्धन थोडें जास्त झाले असते प्रत्यक्ष तापवर्धन त॰ असल्यास (त+त₁)॰ हे शोधित तापवर्धन परिशुद्ध गणनात योजिले पाहिजे त₁॰ हे तापशोधन योग्य प्रकारे करून पुढील समीकाराने या स्थिराकाचे परिशुद्ध गणन करतां येते

स (२ भू पु छ – पु वे² – व) = या ज (त + त₁)

वरील समीकारात भूमीशी पोचताना (पु वे²) ही दोन भारांची गतिऊर्जा असून प्रत्येक भारपतनात व आणि या आकर्षीच्या घर्षणात व ह्या यांत्रिक ऊर्जेचा व्यय होतो जूलच्या सपरीक्षेत भार प्रत्येक वेळी खाली पडताना स्थिति-ऊर्जेपासून मिळालेली ऊष्माराशी अल्प असल्याने, भारपतन अनेक वेळा केल्यानंतरच उष्मानातील पाण्याचा ताप परिशुद्धतेनें मापण्याइतका वाढतो यामुळे सपरीक्षेला बराच कालावधी लागतो आणि या दीर्घ काळात उष्मानातून निरनिराळ्या प्रकारांनी क्रमोवार सक्रामित होणारी ऊष्माराशी वाढते अर्थातच या ऊष्माहानीकरता योजलेली तापशोधनाची वृद्धिहि वाढते हे तापशोधन तितकेस परिशुद्ध असू शकत नाही, म्हणून परिशुद्ध निश्चयनात, विकिरण इत्यादींनी होणाऱ्या ऊष्माहानि-करता योजलेले त₁ हे तापशोधन त या प्रत्यक्ष तापवर्धनापेक्षा बरेच अल्प असणें इष्ट असतें प्रा रोलंड (Prof. Rowland) या शास्त्रज्ञाने योजलेल्या साधनात यंत्राच्या (engine) साहाय्याने यांत्रिक कर्म शीघ्रतेने होऊन अल्पकाळात सपरीक्षा पूर्ण होते त॰ हें प्रत्यक्ष तापवर्धन बरेच जास्त होऊन त्यामानाने त₁ तापशोधन हे उपेक्षणीय असल्याने या ह्या स्थिराकाच्या गणनात ज्यास्त परिशुद्धता येते

रोलंडची परिशुद्ध यांत्रिक समाई रीति

'क' उपमानाच्या वर्तुळाकार लाकडी झाकणाचा मध्य बिंदु तारेला खिळवून उपमान तारेनें टांगलेले असते (आकृति १४–२ पाहा) या झाकणाच्या एका व्यासावरील दोन टोकावरून दोन बळकट दोऱ्या क्षैतिज पातळीत नेऊन अल्प संघर्ष असलेल्या अ आणि आ आकृपीवरून खाली टाकलेल्या असतात या दोऱ्यांच्या अधोगत भागास पु या समान पुंजाचे भार भ, भ बांधलेले असतात झाकणाचा व्यास व असल्यास भ भाराच्या योगाने (पु × गु × व) इतकी विभ्रमिता असलेल्या मिथुनाची उपमानावर क्रिया होते उपमानाच्या तळातून बसविलेला ग मन्थनदण्ड यन्त्राच्या साहाय्याने शीघ्रतेने फिरविता येतो मन्थनदण्ड फिरताना मन्थन दण्डावरील फल (vane) उपमानातील स्थिर असलेल्या फलांच्या मधील भागातून परिभ्रमित होतात आणि



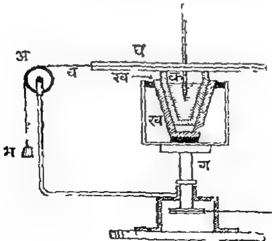
आ १४–२

यामुळे पाण्यात गति उत्पन्न होते हें गतिमान पाणी उपमानाच्या भितीवरील फलकावर येताच त्याची गति थांबून उपमानास फिरण्याची प्रवृत्ति उत्पन्न होते. या प्रवृत्तीची विभ्रमिषा (पु × मू × व) या विभ्रमिषे इतकी असून तिची दिशा म भार-वल्याच्या विभ्रमिषेविरुद्ध असल्यास, मन्थनदण्ड नियमित शीघ्रतेने फिरत असता तारेने टांगलेलें उपमान स्थिर असतें. यावरून, उपमानावरील पाण्याच्या क्रियेची विभ्रमिषा (पु × मू × व) इतकी असल्यास प्रतिक्रिया नियमाप्रमाणे उपमानातील स्थिर फलाच्या पाण्यावरील प्रतिक्रियेची विभ्रमिषा (पु × मू × व) असणें अवश्य आहे हें लक्षात येईल पाण्यात समूहगति नसते म्हणून मन्थनदण्डाची पाण्यावरील क्रियेची विभ्रमिषा (पु × मू × व) इतकीच पण उपमानाच्या क्रियेविरुद्ध असते, म्हणजे मन्थनदण्डाची पाण्यावरील क्रिया (पु × मू × व) या विभ्रमिषेने मापता येईल. म्हणून प्रतिक्रिया नियमाप्रमाणे मन्थनदण्डावरील पाण्याच्या क्रियेची विभ्रमिषा (पु × मू × व) असून या क्रियेविरुद्ध मन्थनदण्ड म वेळा फिरल्यास (म × २ × त्या × पु × मू × व) इतकी यान्त्रिक ऊर्जेचा व्यय होतो

$$२ \times त्या \times म \times पु \times मू \times व = या \times ज \times न$$

उपमान आणि त्यातील पाणी यांचा जलसमाहं ज असून पाण्याचे तापवर्धन न° श आहे जूल आणि रोलंड यांनी निश्चित केलेल्या या ज्या अहा अनुक्रम ४·१८७ × १०⁷ $\frac{श्रम}{उष्ण}$ आणि ४·१८९ × १०⁷ $\frac{श्रम}{उष्ण}$ अशा आहेत यांच्या उपकरणांना उपयोग करून जूलने मापलेली निश्चयनांतील परिशुद्धता वाखाण-ण्यासारखी आहे.

प्रयोगशाळेंत खालील दोन रीतीचा उपयोग करून या ह्या स्थिरांकाचे निश्चयन करण्याचा प्रघात आहे आकृति १४–३ मध्ये दर्शविलेली क आणि ख ही दोन पितळेची शंक्वाकार पात्रें एकात एक बसविलेली असतात ख पात्र लाकडी पेटीत पक्कें खिळवलेलें असून ग दण्ड फिरविल्याने ख ला परिभ्रमणाची गति देता येते. ख फिरू लागतांच सस्पर्शी क पात्रातहि परिभ्रमणाची प्रवृत्ति उत्पन्न होते क पात्रात पाणी असून या पात्रास घ हे मोठ्या व्यासाचें लाकडी झाकण खिळविलेलें असतें. झाकणाच्या परिधीला बांधलेली च ही वळकट दोरी क्षैतिज पातळीत असून अ आकृपीवरून खाली सोडलेल्या या दोरीच्या टोकास पु पुजाचा भ हा योग्य भार अडकविलेला असतो. ख च्या परिभ्रमणाने 'क' पात्रात परिभ्रमणाची प्रवृत्ति होते तथापि क स्थिर असल्यास ख च्या क वरील क्रियेची विभ्रमिया (पु × भू × भ) इतकी असणें अवश्य



आ १४–३

आहे हें लक्षात येईल. तसेच प्रतिक्रियेच्या नियमाप्रमाणे क च्या र वरील प्रतिक्रियेची विक्रमिपा (पु × मू × त्र) असून या क्रियेविरुद्ध ख च्या परिभ्रमणाची संख्या स असल्यास या परिभ्रमणात व्यय झालेली यांत्रिक ऊर्जा स × २ प्या × पु × मू × त्र इतकी असते.

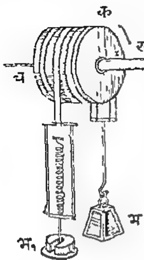
∴ स × २.प्या × पु मू. त्र = या × ज × त

वरील समीकरणात त्र ही क च्या घासणाची त्रिज्या असून क, ख आणि पाणी यांचा जलसमाहं ज असून त हें पाण्याचें तापवर्धन आहे.

क ताम्याचा रम ख या धुरवाहक अक्षाभोवती फिरविता येतो आकृति १४–४ पाहा. या रमाच्या वक्रपृष्ठावर गुंडाळलेल्या रेशमी पट्ट्याच्या दोन टोकास पु आणि पु$_1$ पुंजाचे अनुक्रमे म आणि म$_1$ हे दोन भार बांधलेले असतात. म$_1$ पेक्षा म चा पुंज जास्त असल्याने म भारात खाली येण्याची प्रवृत्ति उत्पन्न होते व रम बाणाच्या दिशेने फिरवून म आणि म$_1$ या भाराच्या रेशमी पट्ट्याच्या द्वारे झालेल्या क्रियेची विक्रमिपा (पु मू त्र – पु$_1$ मू त्र) इतकी म्हणजे (पु – पु$_1$) मू × त्र इतकी असते भाराच्या क्रियेविरुद्ध क रम बाणाच्या दिशेने फिरवितात. रमाच्या या परिभ्रमणाची संख्या स असल्यास या परिभ्रमणात व्यय झालेली ऊर्जा, स × २ × प्या × त्र (म – म$_1$) × मू इतकी असते

∴ स. २ प्या. त्र (पु – पु$_1$) मू = या. ज त

या समीकरणात रमाच्या अनुप्रस्थ छेदाची त्र ही त्रिज्या असून ज हा रमाचा जलसमाहं आहे आणि रमाचें तापवर्धन त° अंश आहे रमाचा ताप मापण्याकरता रमाच्या अक्षावरील कांही भाग



आ. १४–४

पोकळ असून त्यात आकृती १४–४ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे च तापमान दर्शविता येते. रभाचा वक्रपृष्ठ कुसवाहकाने झाकला असल्याने रभ पृष्ठावरून सभोवार विकिरण इत्यादींनी संक्रामित होणारी उष्माराशि उपेक्षणीय असते.

सूर्याचा ऊष्मा लाकडात रसायनिक ऊर्जेच्या स्वरूपात साठविला असतो. लाकडाच्या अथवा कोळशाच्या ज्वलनाने हा ऊष्मा पाण्यास मिळून त्याचे सपीडित प्रबाष्प होते. यंत्रामध्ये या सपीडित प्रबाष्पाच्या विस्तरणाने उपयुक्त यांत्रिक कर्म घडते. या घटनेंत ऊष्मा–ऊर्जेपासून रसायनिक ऊर्जा, नंतर पुन: ऊष्मा–ऊर्जा आणि त्यानंतर शेवटी यांत्रिक कर्म असे ऊर्जेचे रूपांतर होते. धबधब्याच्या पाण्यातील स्थिति–ऊर्जेच्या साहाय्याने विद्युत्जन (electric generator) फिरवून त्यापासून प्राप्त झालेल्या विद्युत्-ऊर्जेने चक्किचा गज आणि इतर विविध यंत्रे यांस ऊर्जा मिळून ती कार्यक्षम होतात. यांत्रिक ऊर्जा आणि ऊष्मा यांच्या परस्पर परिवर्तन विवेचनावरून लक्षात येईल की, अशा प्रकारचे परिवर्तन हे विश्वातील एकंदर ऊर्जा–स्थिरतेचे एक प्रत्यंतर आहे. या अर्थाने ताप–प्रवेगिकीचा पहिला नियम हा ऊर्जा–स्थिरता सिद्धान्ताचा एक भाग आहे. अखिल विश्वातील ऊर्जा स्थिर असून, विश्वातील प्रत्येक घटनेंत ऊर्जेचे एका स्वरूपांतून दुसऱ्या स्वरूपांत नियमबद्ध रूपांतर होते. विश्वातील ऊर्जा अविनाश्य (indestructible) आणि

असृज्य (uncreatable) आहे असाच वरील सर्व घटनांचा निष्कर्ष निघतो. आईनस्टाईनच्या सापेक्षता (relativity) सिद्धांताप्रमाणे मूतद्रव्य आणि ऊर्जा ह्यांचेहि परस्परांत नियमबद्ध रूपांतर होते. सापेक्षतेतील ह्या उपसिद्धांताची संपरीक्षेने प्रचिती आलेली आहे. मूतद्रव्याच्या रूपांतराने मिळणारी ऊर्जाराशि बरीच मोठी असते. मूतद्रव्याचे ऊर्जेत रूपांतर होण्याची घटना अणु-प्रस्फोटांत (atom bomb) योजली आहे.

तापवर्धनाने वस्तुद्रव्याच्या गुणधर्मांत होणाऱ्या काही परिवर्तनांचे स्पष्टीकरण द्रव्य गति-सिद्धांत (kinetic theory of matter) व ऊष्मा आणि गति-ऊर्जा यांच्या परस्पर परिवर्तनाचा नियम यांच्या साहाय्याने करता येते. मूतद्रव्याचे व्यूहाणु स्थिर नसून या व्यूहाणूंस गति ऊर्जा असते, ही द्रव्य गति-सिद्धांताची मध्यवर्ती कल्पना आहे. सांद्राच्या व्यूहाणूंस आवेपनाची गति-ऊर्जा आणि स्थिति-ऊर्जा असून ताप वाढल्याने या व्यूहाणूंची माध्य आवेपन ऊर्जा (mean vibrational energy) वाढते. ताप न्यून होत असल्यास आवेपनाची माध्य ऊर्जा न्यून होते. तरल आणि वाति यांच्या व्यूहाणूंस, आवेपन, परिभ्रमण आणि स्थानांतरण या तीन प्रकारच्या गती संभवतात. स्थानांतरण गति-ऊर्जा ज्यास्त असलेले व्यूहाणू तलानति बलाविरुद्ध कर्म करून तरलाच्या मुक्तपृष्ठावरून जेव्हा बाहेर जातात तेव्हा तरलाचे उद्वाष्पन होते असे म्हणता येईल. ज्यास्त गति-ऊर्जा असलेले व्यूहाणू अशा प्रकारे तरलांतून बाहेर पडल्याने तरलांत शेष राहिलेल्या व्यूहाणूंची माध्य ऊर्जा अल्प होते म्हणजे तरलाचा ताप न्यून होतो उद्वाष्पनाने उरलेल्या तरलाचे शीतन होण्याचे कारण वरीलप्रमाणे आहे. याच विचार-सरणीने वातिद्रव्याच्या स्थिर परिमा स्थितीतील आणि स्थिर निपीड स्थितीतील भिन्न आपेक्षिक ऊष्मांतांचे स्पष्टीकरण करता



आ. १४–५

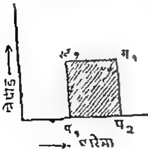
येते. या स्पष्टीकरणास साहाय्यक अशा काही घटनांचे प्रथम विवेचन करू. आकृति १४–५ मध्ये दर्शविलेल्या क रभपात्रातील वातीचे निपीड ना असून रभातील ख मुषलाचे स्थिर निपीड-स्थितीत द विस्थापन झाल्यास बाह्य निपीडाविरुद्ध वातीने केलेले कर्म पुढीलप्रमाणे दर्शविता येईल.

कर्म = मुषलावरील बल × मुषलाचे विस्थापन
= निपीड × मुषलाच्या अनुप्रस्थ छेदाचे क्षेत्रफळ × विस्थापन
= ना × क्षे × द

मुषलाच्या द विस्थापनाने रभपात्रातील वातीची परिमा क्षे × द इतकी वाढते.

∴ कर्म = ना × वातीच्या परिमेचे परिवर्तन

वाति आणि तरल यांच्या स्थिर निपीड विस्तरणातील बाह्य निपीडाविरुद्ध केलेल्या कर्माची वरील प्रमाणे गणन करताना वाति अथवा तरल रभपात्रातच असण्याची आवश्यकता नाही हे थोड्या विचाराती लक्षात येईल.



आ. १४–६

बिन्दुरेखा पत्रावर परिमा आणि निपीड या दोन अक्षांच्या द्वारे वरील कर्माचे प्रतिरूपण करता येते (आकृति १४–६ पाहा) प्रारंभीची परिमा आणि विस्थापना-

नंतरची स्थिती अनुक्रमे $ख_{१}$ आणि $ग_{१}$ या बिंदूंनी दर्शविल्यास,

$$\text{कर्म} = \text{ना} \times \text{परिमावर्धन}$$
$$= ख_{१}प_{१} \times ख_{१}ग_{१}.$$
$$= ख_{१}ग_{१}प_{२}प_{१} \text{ ह्या आयताचे क्षेत्रफळ}$$

पाणी उकळताना पाण्याचे परिमावर्धन होते या परिमावर्धनाच्या घटनेत वायुमंडलाच्या बाह्य निपीडाविरुद्ध होणाऱ्या कर्माची अर्हा पुढीलप्रमाणे गणन करता येते.

१००° या तापमानावर १ ग्राम्य पाण्याची परिमा आणि १ ग्राम्य प्रवाष्पाची परिमा स्थूल मानाने अनुक्रमे १ घ शि. मा. आणि १६९० घ शि. मा आहेत

$७६ \times १३.६ \times ९८० \frac{\text{धावल}}{(\text{शि मा.})^{२}}$ या वायुमंडलीय निपीडाविरुद्ध विस्तरणाने झालेले कर्म,

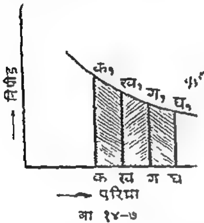
$$\text{कर्म} = ७६ \times १३.६ \times ९८० \times (१६९० - १) \text{ धम}$$

वरील कर्माची तुल्य उष्माराशि क असल्यास

$$क = \frac{\text{कर्म}}{\text{या}} = \frac{७६ \times १३.६ \times ९८० \times १६८९}{४.२ \times १०^{७}} = ४०.७ \text{ उष (स्थूलमानाने)}$$

यावरून असे दिसून येईल की १ ग्राम्य पुंज असलेल्या पाण्याच्या उद्वाष्पनाकरिता लागणाऱ्या ५३६ उष या गुप्त

उष्माराशीपैकी जवळ जवळ ४१ उप इतका उष्मा बाह्य निपीडा-विरुद्ध कर्म करण्यात व्यय होतो. तरलस्थितीतून वाति-अवस्थेत जाताना तरलाची आंतरव्यूहाण्विक ऊर्जा वाढविण्यात (५३६-४०·७) उप या उष्माराशीचा विनियोग होतो असे मानावे लागते. (५३६-४०·७) उप या राशीस 'आंतर-गुप्तऊष्मा' (internal latent heat) म्हणता येईल.



आ १४-७

परिमा परिवर्तन होत असता निपीडातहि परिवर्तन होत असल्यास, कर्माचे गणन पुढील प्रमाणे करता येते. परिमा निपीड संबंध दर्शविणाऱ्या वक्ररेषेचे क$_1$ख$_1$, ख$_1$ग$_1$, ग$_1$घ$_1$ इत्यादि लहान भाग घेतल्यास, क$_1$ ख$_1$ हे अल्पपरिवर्तन क$_1$ क या निपीडावर होते असे म्हणता येईल, आकृति १४-७ पाहा या परिमा विस्तरणात झालेले कर्म पुढीलप्रमाणे दर्शविता येते.

कर्म = क$_1$क × क ग = क क$_1$ ख$_1$ ख या अरुंद आयताचे क्षेत्रफळ

तसेच ख$_1$ ग$_1$ यातील अल्पपरिमावर्धनात झालेले कर्म ख$_1$ ख या निपीडावर होते असे मानल्यास,

कर्म = ख$_1$ ख × ख ग = ख ख$_1$ ग$_1$ ग ह्या अरुंद आयताचे क्षेत्रफळ

यावरुन लक्षात येईल की परिमानिपीड परिवर्तन बिन्दुरेख पत्रावर क, ख, ग, घ, या वक्राने दर्शविन्यास वक्राचा हा भाग, $क_1क$, $घ_1घ$ हे लव आणि परिमाअक्ष यामधील क्षेत्रफळाने या परिवर्तनातील कर्म दर्शविता येते.

स्थिरपरिमा स्थितीत १ धान्य पुंज वातीचा ताप १° वाढण्यास लागणारा आपेक्षिक ऊष्मा $ऊ_प$ असल्यास या ऊष्माराशीचा विनियोग व्यूहाणूची गति-ऊर्जा वाढण्यात होतो. त्याच वातीच्या १ धान्य पुंजाचा स्थिरनिपीड स्थितीत १° ताप वाढण्यास लागणाऱ्या $ऊ_न$ आपेक्षिक ऊष्माच्या राशीपैकी, (१) काही भागाचा विनियोग व्यूहाणूची गति-ऊर्जा वाढविण्यात होतो, तसेच (२) काही भागाचा विनियोग परिमावर्धनातील बाह्य निपीडाविरुद्ध केलेल्या कर्मात होतो, (३) परिमा वाढल्याने व्यूहाणूच परस्परामधील अंतर वाढते. व्यूहाणू परस्परास आकर्षित करीत असतील तर, व्यूहाणूमधील अंतर वाढताना या आकर्षण बलाविरुद्ध काही कर्म करण्यासहि ऊर्जेचा व्यय होईल म्हणजे $ऊ_न$ या ऊष्माराशीचा विनियोग तीन प्रकाराने होईल यापैकी तिसरा प्रकार उपेक्षणीय मानल्यास, $ऊ_न$ आणि $ऊ_प$ यातील भेद, हा बाह्य निपीडाविरुद्ध परिमा विस्तरणात होणाऱ्या कर्मराशीने दाखविता येता असे दिसून येईल

या $(ऊ_न - ऊ_प) =$ कर्म $=$ ना $\times$ १° तापवर्धनात आलेल्या {परिमा विस्तरण

$= ना\ (प_2 - प_1)$

वरील समीकरणात १ धान्य वाति-पुंजाची (त) आणि

(त + १) या तापावरील समनिपीड स्थितीतील परिमा अनुक्रमे $प_1$ आणि $प_2$ यानी दर्शविली आहे.

वाति–समीकाराच्या साहाय्याने निपीड-परिमा-ताप संबंध पुढीलप्रमाणे लिहिता येईल.

$$ना. प_1 = स्था. ता$$

$$ना. प_2 = स्था (ता + १)$$

$$ना (प_2 - प_1) = स्था$$

$$= \frac{\text{१ धान्य वातीची परिमा} \times \text{वायुमंडलीय ऋजुनिपीड}}{२७३}$$

ऋजु ताप निपीड स्थितीत १ घ. शि. मा. वायूचा पुंज ०·००१२९ धान्य असल्याने,

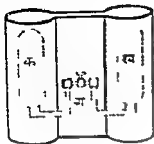
$$स्था = \frac{(७६ \times १३·६ \times ९८०)}{२७३} \times \frac{१}{·००१२९}$$

$$या (ऊ_न - ऊ_प) = स्था$$

यावरून स्था, $ऊ_न$ आणि $ऊ_प$ याच्या अर्हा माहित असल्यास 'या' यांत्रिक समार्हाचे गणन करता येते.

अर्थातच हे गणन अंतराव्यूहाण्विक–बल (inter molecular force) उपेक्षणीय मानून केल्यामुळे वरील गणनात तितकीशी शुद्धता असणें शक्य नसते

परिमा वाढताना व्यूहाणूबलाविरुद्ध केलेले कर्म उपेक्षणीय



आ १४-८

असतें असे जूलने पुढील सपरीक्षेने दाखविले आकृति १४-८ मधील क धातुपात्रात संपीडित वायु असून ख पात्र वातनिष्पादयाने निर्वात केलेले असत क आणि ख एका जलाशयात ठेवून स्थिर ताप झाल्यावर तीं पात्रें ग तोटीनें जोडतात. ख मध्ये वातनिपीड शून्य असल्यामुळे क मधील वायूचे ख मधील परिमेंत विस्तरण होताना विरोधी निपीड शून्य असल्यामुळें या वायूचे या विस्तरणात झालेले बाह्यकर्म (external work) शून्य असते परंतु वायूची परिमा वाढल्यानें व्यूहाणूंचे परस्परामधील अंतर वाढते अंतर वाढण्यात अंतराव्यूहाणुबलाविरुद्ध कर्म होत असल्यास या कर्मास लागणारा ऊष्मा पाण्यापासून मिळून त्याचा ताप न्यून होईल जूलच्या सपरीक्षेंत क आणि ख जोडल्यानंतर पाण्याच्या तापाचे परिवर्तन उपेक्षणीय असतें असे दिसले यावरून वायूतील अंतराव्यूहाणुबलाविरुद्ध केलेले कर्म शून्य असावे अथवा फारच अल्प असावे असे म्हणता येईल जूल आणि थॉमसन् या शास्त्रज्ञांनी योजलेल्या रन्ध्र प्रसरण (porous plug) सपरीक्षेंत दिसून आले की सामान्यतः वातींतील अंतराव्यूहाणूबल अल्प असते काही परिस्थितीत या बलाविरुद्ध कर्म करून वातींचा ताप न्यून करता येतो (वायूचे तरलन पृष्ठ ३१९ पाहा)

समताप परिवर्तन आणि समोष्ण परिवर्तन

(isothermal change and adiabatic change)

वस्तूच्या कोणत्याही परिवर्तनात ताप स्थिर असल्यास या परिवर्तनास 'समताप परिवर्तन' म्हणतात.

साधारण निपीडवर्धनाने सांद्र आणि वाति याचे परिमा-परिवर्तन अल्प असते सांद्र आणि तरल याच्या समताप स्थितीतील परिमापरिवर्तनाचे विवेचन प्रस्तुत सारख्या पुस्तकात करण्याचा प्रघात नाही. वातीचे समताप परिमापरिवर्तन जास्त असल्याने याविषयी चर्चा येथे केली आहे वातीच्या समताप स्थितीतील परिमा निपीड संबंध, बॉईलच्या स. ता. प. नि. नियमाने दर्शवितात

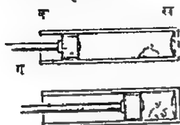
निपीड × परिमा = स्थिर अंक

परिमा वाढत असल्यास बाह्य निपीडाविरुद्ध केलेल्या कर्माने, ऊर्जेचा व्यय होतो ही ऊर्जा सभोवारच्या वस्तु-समूहातून ऊष्म्याच्या रूपाने वातीस मिळाल्यास, वाति व्यूहाणूची गति-ऊर्जा स्थिर राहून वातीचा ताप स्थिर असतो म्हणजे परिमापरिवर्तन समताप स्थितीत होते. त्याचप्रमाणे निपीडवर्धनाने वातीची परिमा संकोचित होत असताना बाह्य कर्मामुळे उत्पन्न झालेला ऊष्मा वातीतून सभोवार संक्रामित होत असला तरच वातीचे परिमा संकोचन समताप स्थितीत होते.

अशा प्रकारे विस्तरणात ऊष्मा बाहेरून मिळत असल्यास आणि संकोचनात वातीवर बाहेरून झालेल्या कर्माने मिळालेला ऊष्मा सभोवार संक्रामित होत असल्यास, हे विस्तरण अथवा संकोचन समताप स्थितीत होते असे म्हणतात

परिमावर्धनात बाह्य निपीडाविरुद्ध कराव्या लागणाऱ्या कर्मास आवश्यक असणारी ऊष्माराशि सभोवारच्या वस्तूतून न मिळाल्यास ही ऊष्माराशि व्यूहाणूच्या गति-ऊर्जेतून घेतली गेल्याने व्यूहाणूची गति ऊर्जा न्यून होते यामुळे वातीचा ताप न्यून होतो तसेच परिमा संकोचनात बाहेरून कर्म झाल्याने या कर्माशी तुल्य ऊष्माराशि वातीच्या व्यूहाणूस मिळून वातीचा ताप वाढतो.

वरीलप्रमाणे वस्तु-द्रव्यास परिवर्तन होत असता या वस्तुद्रव्यातून ऊष्माराशि सभोवार प्रसारित होत नसल्यास अथवा बाहेरून या वस्तु द्रव्यास ऊष्माराशि मिळत नसल्यास ह्या परिवर्तनास 'समोष परिवर्तन' म्हणतात.



आ. १४-९

क.ग या काचेच्या बळकट नळीत प्रांगार-द्वि-गन्धेयाने (CS_2) भिजवलेला थोडा कापूस टाकावा (आकृति १४-९ पाहा). ख टोक बंद असून या नळीतील ग मुसळ जोराने नळीत लोटल्यास नळीतील वायूचा ताप समोष संकोचनाने वाढून प्रांगार द्विगन्धेयाचे बाष्प पेटते

दुचाकीच्या चक्रावरील धृपि-नळ्यात वायु भरताना वानि सपीडकाची क्रिया बऱ्याच शीघ्रतेने केल्यास सपीडकाच्या रमाचा ताप बराच वाढतो. याचें कारण, सपीडकातील वातीचे संकोचन बऱ्याच शीघ्रतेने झाल्यानें यांत्रिक कर्माच्या व्ययाने वातीला मिळालेला उष्मा तितक्या शीघ्रतेने बाहेर प्रसारित होत नाही; म्हणून सपीडकाचा आणि त्यातील वायूचा ताप बराच वाढतो. सपीडकाच्या मुसलावर तेलासारखें उपस्नेहन-द्रव्य (lubricant) पुरेसें असल्याने सपीडकातील मुसलाचे संघर्ष बल अल्प असते. या अल्प संघर्ष बलाविरुद्ध केलेले यांत्रिक कर्म उपेक्षणीय असते आणि संघर्ष बलाविरुद्ध केलेल्या उपेक्षणीय कर्माचा ऊष्माहि उपेक्षणीय असतो. यावरून सपीडकाच्या तापवर्धनाचे कारण सपीडकाच्या शीघ्र क्रियेने वातीचे समोष सपीडन होणें हें लक्षात येईल.

वातीच्या समोष्ण परिवर्तनातील (पा) परिमा आणि (ना) निपीड याचा,संबध पुढीलप्रमाणे दर्शविता येतो.

$$ना\ पा^{ऐ} = स्थिरांक$$

$$या\ समीकारात \quad ऐ = \frac{ऊ_{न}}{ऊ_{प}}$$

ऐ ची अर्हा वातिब्यूहाणूच्या रचनेवर अवलंबून आहे एकपरमाणिक (monatomic) वातीच्या ऐ ची अर्हा १.६६ असून व्यूहाणून ज्या मानाने जास्त परमाणू असतील त्या मानाने ऐ ची अर्हा न्यून होते यानाति, पारद, बाष्प इत्यादीत ऐ ची अर्हा १.६६ असून, उद्जन, जारव इत्यादि वातीत ऐ ची अर्हा १.४४ असते. प्रांगार–द्विजारेय इत्यादि वातीत ऐ ची अर्हा १.३ असते

प्रश्न

(१) *व्यूहाणूची गतिऊर्जा ही ऊष्म्याची निदर्शक आहे या* विधानाचे स्पष्टीकरण करा.

(२) ताप प्रगतिकीचा पहिला नियम लिहा या नियमाच्या माहात्म्याने ऊर्जा–स्थिरतेच्या सिद्धांताचे विवेचन करा.

(३) समताप परिवर्तन तसेच समोष्ण परिवर्तन याच्या व्याख्या द्या. या दोन प्रकारच्या परिवर्तनाची दोन दोन उदाहरणे देऊन त्यांतील घटनांचे स्पष्टीकरण करा

(४) स्थिर निपीड स्थितीतील आणि स्थिर परिमा स्थितीतील

वायूंच्या आपेक्षिक उष्माधारकांच्या भेदाचे विवेचन करा. हा उष्माधारांतील भेद माहीत असल्यास 'ज' चे गणन कसे करतां येते हें स्पष्ट करा. हें गणन परिशुद्ध मानतां येईल काय ?

(५) शिशाची गोळी अनाम्य पृष्ठतलावर आदळल्याने तिचा ताप १०°श. वाढतो. शिशाचा आपेक्षिक उष्मा ०·०३ असून ऊर्जेच्या व्ययाने मिळालेला सर्व उष्मा गोळींतच असतो असें मानल्यास पृष्ठतलावर आपटतेवेळी गोळीचा वेग किती असावा ?

(६) १००० टन इतका उष्मा मिळाल्यास त्यापासून ५ सेंटीग्रॅम इतके वजन होऊ शकेल काय ? तुमच्या उत्तराची कारणें स्पष्ट लिहा.

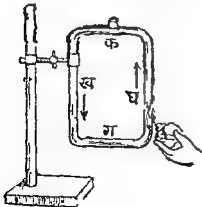
* * * *

प्रकरण १५

ऊष्मा संक्रामण

न्युद्वहन आणि संवाहन

धातूच्या सळईचे एक टोक विस्तवात अथवा ज्योतीत कांहीं वेळ ठेवल्यास सळईचे दुसरे टोकहि तापतें, पाणी भरलेल्या पात्राचा तळ ज्योतीने तापविल्यास मुक्तपृष्ठावरील पाण्याचाहि ताप वाढतो, या घटना आपणास परिचित आहेत सळईच्या सर्व भागास तिच्या तापलेल्या टोकापासून ऊष्मा मिळतो, म्हणून तिच्या सर्व भागाचा ताप वाढतो याप्रमाणे, उष्णभागातून न्यून ताप असलेल्या भागात होणाऱ्या ऊष्मा संक्रामणास 'ऊष्मा संवाहन' (conduction of heat) ही संज्ञा आहे तरल, वात्ति इत्यादि प्रवाही द्रव्याच्या ऊष्ण भागातून ताप न्यून असलेल्या भागात ऊष्मा पसरण्याच्या घटनेला 'न्युद्वहन' (convection) ही संज्ञा आहे

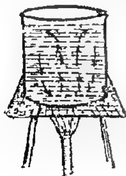


आ १५-१

न्युद्वहन

पुढील सपरीक्षेने प्रवाही द्रव्यातील न्युद्वहनाच्या क्रियेचा अभ्यास करता येतो क ख ग घ हा समरूप काचनळीचा चौकोन क भागापर्यंत पाण्याने भरलेला आहे आकृति १५-१ पाहा चौकोनाचा घ भाग

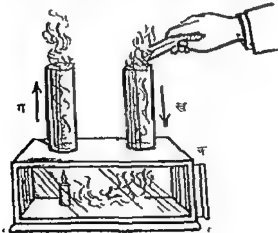
ज्योतीने तापविल्यास घ क ख ग या मार्गाने पाण्यांत प्रवाह उत्पन्न होतो. पाणी तापवीत असता रंगाचे थोडे कण क भागातून आंत टाकल्यास विलयनाने रंगीत झालेले पाणी घकग मार्गे प्रवाहित होताना दिसते. घ येथील पाण्याचा ताप वाढल्याने तेथील पाण्याची परिमा वाढते. या परिमावर्धनाने तापलेल्या पाण्याची घनता न्यून होऊन हे पाणी घ च्या वरच्या भागाकडे प्रवाहित होते. घ भागातून वर येणाऱ्या पाण्याच्या प्रवाहाने, घ येथील पाणी पुढे लोटले जाऊन नळीत घकग या दिशेने पाण्याचा प्रवाह उत्पन्न होतो. कखगघ नळीत दुसरे तरल टाकून वरप्रमाणेच तापविल्यास, त्या तरलातहि घकखग मार्गे प्रवाह उत्पन्न होतो तापलेल्या तरलाची परिमा वाढल्याने त्याची घनता न्यून होऊन या तरलास ऊर्ध्वगति मिळते आणि या तप्त तरलाच्या स्थानी जास्त घनता असलेले न्यून ताप-स्थितीतील तरल येते. वरील घटनेत तापलेल्या तरलद्रव्याच्या स्थानांतराने तरलाच्या सर्व भागात ऊष्मा पसरतो हे दिसून येईल. नित्याच्या व्यवहारातील पाणी तापविण्याच्या पात्रात न्यूढ्हनाची क्रिया कशी असते हे आकृति १५-२ वरून लक्षात येईल. पात्राच्या तळाशी असलेले पाणी तप्त झाल्याने त्याची परिमा वाढून घनता न्यून होते. न्यून घनतेचे हे ऊन पाणी पात्राच्या मध्यभागातून वर मुक्तपृष्ठाकडे प्रवाहित होते पृष्ठभागाजवळील न्यून तापस्थितीतील पाणी पात्राच्या भितीजवळील भागातून तळाकडे येते



आ. १५-२

वातीतील न्यूढ्हनाची पुढील सपरीक्षे-वरून प्रचिती येते आकृति १५-३ मधील क या लाकडी पेटीच्या वरच्या भागात ग, ख ही दोन काचेची नळकांडी बसविली आहेत ग नळकांड्याच्या खालच्या

भागाजवळ जळती मेणवत्ती ठेवली आहे. ज्योतीमळे तापलेला उष्ण वायू ग नळीतून वर जातो आणि न्यून ताप असलेला बाहेरील वायू ख मार्गे पेटीत शिरतो ख च्या तोंडाशी धुमसता कागद धरल्यास, ख मार्गे धूर पेटीत शिरतो. यावरून, ख मार्गे शीत वायु पेटीत शिरतो असे दिसते. क पेटीचा समोरचा पार्श्व काचेचा असल्यास ख मार्ग उघडा अथवा बंद केल्यानंतर ज्योतीत होणाऱ्या परिवर्तन-क्रिया स्पष्ट पाहता येतात खाणीच्या निरनिराळ्या भागात शुद्ध वायू खेळविण्याकरिता वरील सपरीक्षेतील घटनेचा उपयोग करतात खाणीच्या दोन टोकास खोल विहीरी असून एका विहीरीच्या तळाशी भट्टी असते. भट्टीवरील तापलेला वायु ऊर्ध्व दिशेने (आकृति १५–३ मधील ग नळकांड्यातील ऊष्ण वायूप्रमाणे) प्रवाहित होऊन वर निघून जातो आणि दुसऱ्या विहीरीच्या वरच्या उघड्या भागातून ख प्रमाणे बाहेरील शुद्ध शीत वायु खाणीत शिरतो.



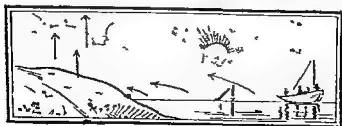
आ. १५–३

भट्टीला धुराडे (chimney) असल्यास, भट्टीतील तप्त वायु न्यूढहनाच्या क्रियेने या धुराड्यातून वर जातो आणि बाहेरील शीत वायु भट्टीत शिरतो या वायूतील जारकाच्या संयोगाने भट्टीतील इन्धनाचे (fuel) ज्वलन जास्त शीघ्रतेने होते. धुराड्यातील उष्ण वायूचा स्तम्भ आणि बाहेरील तितक्याच उंचीचा शीत वायूचा स्तम्भ यांची उंची आणि या दोन स्तम्भातील वायूचा तापभेद या दोहोंवर न्यूढहनाच्या क्रियेतील उष्ण वायूच्या ऊर्ध्व प्रवाहाची शीघ्रता अवलंबून असते. म्हणून मोठमोठ्या उत्पादन शाळा (factory) यन्त्रशाळा इत्यादिकांतील भट्ट्यांची धुराडी ऊष्ण वायूचा स्तम्भ वाढविण्याकरता फरीच उंच असतात. आगगाडीच्या यन्त्राला (locomotive engine) उंच धुराडे जोडणें शक्य नसते म्हणून यन्त्राच्या आखूड धुराड्यातून प्रबाष्पाचा प्रबल प्रवाह सोडतात. प्रबाष्पाच्या या प्रबल प्रवाहाने आखूड धुराड्यातील सप्त वायूहि बाहेर प्रवाहित होऊन भट्टीतील इन्धनावरील भागात बाहेरील वायूचा प्रवाह येतो यामुळे ज्वलनाची क्रिया शीघ्रतेने होते एका वातीच्या प्रबल प्रवाहाने दुसऱ्या स्थिरच्या वातीत त्याच दिशेने प्रवाह उत्पन्न होण्याच्या घटनेचे दुसरे उदाहरण प्रयोगशाळेतील दाहकाच (burner) आहे. या दाहकात दाहक-वातीच्या प्रवाहावरोबर तळाजवळील पार्श्व छिद्रातून बाहेरील वायु येऊन दाहकवातीच्या ज्वलनास साहाय्य होते

प्रवाहि द्रव्याच्या एका भागाचा ताप वाढल्याने तेथील प्रवाहि-द्रव्याची घनता अल्प होऊन योग्य परिस्थितीत त्यात प्रवाह उत्पन्न होतात ही घटना लक्षात आल्यास समुद्रावरून भूमीकडे वाहणारा वारा भूमीवरून समुद्राकडे वाहणारा वारा, पृथ्वीवरील व्यापारोप-योगीवारे (trade winds) महासागरातील पाण्याचे प्रवाह (ocean

currents) इत्यादींची उपपत्ति देता येते. ऊष्ण कटिबंधातील तापलेला वायु ऊर्ध्व दिशेने प्रवाहित होतो आणि समशीतोष्ण कटिबंधातील त्या मानाने न्यून ताप असलेला वायु, पृथ्वीच्या पृष्ठभागाजवळून ऊष्ण कटिबंधाकडे येतो. पृथ्वीच्या पश्चिमेकडून पूर्वेकडील दैनिक परिभ्रम-गतीने उत्तर गोलार्धात हा वायु थेट उत्तरेकडून उष्ण कटिबंधाकडे न वाहता ईशान्येकडून वाहतो अन वाटत दक्षिण गोलार्धात असा वायूचा प्रवाह आग्नेयकडून असतो दिवसा समुद्राकाठचा भूमि–भाग पाण्यापेक्षा जास्त तापल्याने भूमि–भागावरील तप्त वायु उर्ध्वगतीने वर जातो आणि पाण्याचा ताप तितकासा न वाढल्याने समुद्रावरील वायु भूमीकडे वाहतो. [आकृति १५–४ (अ) पाहा] सूर्यास्तानंतर, भूमि–भागाचा ताप समुद्रातील पाण्याच्या तापापेक्षा लौकर न्यून झाल्याने, रात्री वायूचा प्रवाह भूमीकडून समुद्राकडे असतो [आकृति १५–४ (आ) पाहा] समुद्राकाठी मासे धरणाऱ्या कोळ्यास वायूच्या या उलट सुलट प्रवाहाच समुद्रसंचारात बरच साहाय्य होत

उष्ण कटिबंधातील महासागरात तापलेल पाणी सागराच्या पृष्ठावरून समशीतोष्ण भागातील सागराकडे प्रवाहित होते सागराशी संलग्न असलेल्या प्रदेशाच्या काठाचा विस्तार आणि



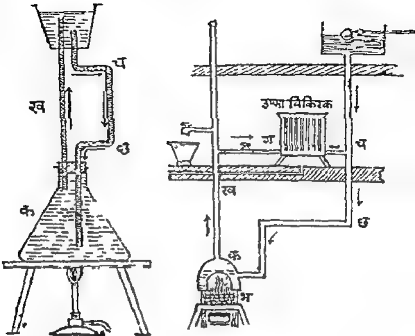
आ १५–४ (अ)



आ. १५–४ (आ)

दिशा (extent and configuration) यामुळे वरील प्रवाहाच्या दिशेंत परिवर्तन होते. गल्फ्स्ट्रीम् (gulf stream) या नावाने ओळखला जाणारा ऊष्ण पाण्याचा प्रवाह मेक्सिको जवळील पश्चिम अटलांटिक महासागरातून निघून पश्चिम आयर्लंड, स्कॉटलंड, नॉर्वे आणि स्वीडन या राष्ट्रांच्या उत्तर काठापर्यंत येतो या ऊष्णप्रवाहामुळे, शीत कटिबंधाजवळील वरील भागातून समुद्रातील वाहतुक प्राय सर्व ऋतूत चालू असते.

तरलाच्या संवहनाचा उपयोग करून शीत कटिबंधातील घर आणि त्यातील वायु याचा ताप, मानवी जीवनास सुखावह होण्याइतका वाढवतात आकृति १५–५ मध्ये अशी तापवर्धनाची एक योजना दर्शविली आहे क मधील बाष्पित्रातील पाणी भ भट्टीत तापून ख नळाद्वारे ऊर्ध्व दिशेंत प्रवाहित होते ख नळाचे ग इत्यादि निरनिराळे भाग घराच्या भितीत ऊर्ध्व दिशेंत बसविलेले असतात ह्या नळातून बाष्पित्रातील ऊष्ण पाणी प्रवाहित झाल्याने घरातील वायुचा ताप वाढतो घराच्या वरच्या भागात गेलेले पाणी शीत होऊन घ मार्गे बाष्पित्राकडे प्रवाहित होते असे स्थूलमानाने या योजनेचे वर्णन करता येईल ख, ग मधून ऊष्ण पाणी प्रवाहित



आ १५-५

न करता बाष्पित्रातील प्रबाष्प प्रवाहित करुन घरातील वायूचा ताप वाढवता येतो

ऊष्ण कटिबधातील घराच्या भितीत छपराजवळील भागात वातायन (ventilator) असल्यास मनुष्यांच्या श्वासोच्छ्वासाने आणि ससर्गाने तापलेला वायु खोलीच्या वरच्या भागात जाऊन वातायनमार्गे बाहेर पडतो आणि बाहेरील शुद्ध वायु दारे, खिडक्या इत्यादीतून खोलीत शिरतो.

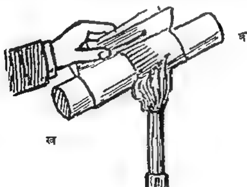
संवाहन

वस्तूतील उष्मा संवाहनाचे द्रव्यगति-सिद्धान्तानुसार (kinetic theory of matter) पुढील प्रमाणे स्पष्टीकरण करता येते. द्रव्यगति-सिद्धांताची मध्यवर्ती कल्पना अशी आहे की, वस्तुद्रव्याचे व्यूहाणु हे स्थिर नसून या व्यूहाणूस गति-ऊर्जा असते. सान्द्राच्या व्यूहाणूस आवेपनाची गति असून मध्यम-स्थानाभोवती (mean position) या व्यूहाणूचे आवेपन (vibration) होऊ शकते. तरलाच्या आणि वातीच्या व्यूहाणूस आवेपन-गति असून स्थानांतरण गतीहि असते व्यूहाणूची गति-ऊर्जा ही वस्तूच्या तापस्थितीची निदर्शक असल्याने वस्तूचा ताप वाढल्यास व्यूहाणूची गति-ऊर्जा वाढलेली असते सान्द्राच्या क भागाचा ताप वाढला म्हणजे त्या भागातील व्यूहाणूची आवेपन गति-ऊर्जा वाढते नतर निकटच्या ख भागातीलहि व्यूहाणूची आवेपन गति-ऊर्जा क भागातील व्यूहाणूच्या सस्पर्शाने वाढते त्यानंतर, ख निकटच्या ग भागातील व्यूहाणूची गति-ऊर्जा ख भागातील व्यूहाणूच्या सस्पर्शाने वाढते. म्हणजे क चा ताप वाढल्यास, त्या भागातील व्यूहाणूची गति-ऊर्जा ख आणि ग येथील व्यूहाणूस मिळून ख आणि ग या भागाचा ताप वाढतो (गति-ऊर्जा आणि ऊष्माराशि या नवधी प्रकरण १४ वे पाहा).

सुसंवाहक आणि कुसंवाहक
(good conductor and bad conductor)

धातूच्या सळईचे एक टोक विस्तवात असता दुसरे टोक बरेच तापत परतु, एका टोकाला पेटलेले लाकूड अथवा जळती मेणबत्ती दुसऱ्या टोकाने हातात धरता येते. यावरून लक्षात येईल की, धातूच्या सळईतून बरीच ऊष्माराशि संवाहित होते आणि लाकूड, मेण यासारख्या पदार्थांतून संवाहित होणारी ऊष्माराशी अल्प असते

ज्या वस्तूत उष्म्याचे संवाहन जास्त प्रमाणात होत त्या वस्तूस 'सुसंवाहक' (good conductor) म्हणतात सर्व धातु प्राय सुसंवाहक आहेत. संवाहित होणारी ऊष्माराशि अल्प असल्यास, त्या वस्तूस 'कुसंवाहक' (bad conductor) म्हणतात. लाकूड, मेण, कातडें, काच ही कुसंवाहकाची उदाहरणे आहेत लाकूड आणि धातु यांच्या संवाहनातील भेदाची पुढील संपरीक्षेवरून प्रचिती येते. तांब्याचा क समरूप दण्ड ख या लाकडी दण्डाला जोडलेला आहे आकृति १५–६ पाहा क ख भोवती कागद गुंडाळून आकृतीत दर्शविल्याप्रमाणे क आणि ख यांच्या जोडावरील कागद ज्योतीत धरल्यास, लाकडी भागावरील कागद काळवटून धुमसू लागतो तथापि, धातूच्या भागावरील कागदावर ज्योतीच्या ऊष्म्याचा फारसा परिणाम झालेला दिसत नाही. धातुदण्डातून ऊष्माराशि जास्त प्रमाणात संवाहित होऊन त्यावरील कागदाचा ताप फारसा वाढत नाही, उलट लाकडातून ऊष्माराशि अल्प प्रमाणात संवाहित झाल्याने तेथील कागदाचा ताप वाढून कागद धुमसू लागतो.



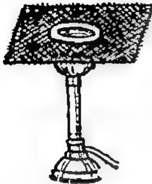
आ १५–६

कागदाच्या डब्यात शिसे वितळवितां येते; याचे कारण असे आहे की, कागदाला ज्योतीतून मिळालेला उष्मा धातूतून शीघ्र संवाहित होऊन शिसे वितळून, म्हणून ज्वलनस्थिति येण्याइतका कागदाचा ताप वाढत नाही.

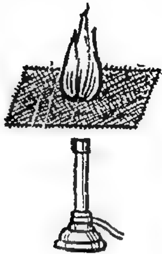
उन्हात असलेला धातुखण्ड उन्हातील लाकडापेक्षा उष्ण भासतो, याचे कारण असे की, धातूखण्डातून आपल्या हातात बराच उष्मा संवाहित होतो. त्यामानाने लाकडातून आपल्या हाताला अल्प उष्मा मिळाल्याने धातुखण्ड आपणास लाकडापेक्षा जास्त उष्ण भासतो हिवाळ्यात याच वस्तु रात्री बाहेर असल्यास या वस्तूंना स्पर्श करताना आपल्या हातातून धातुखण्डात जास्त उष्मा संवाहित होऊन धातुखण्ड आपणास लाकडापेक्षा जास्त थंड भासतो वाफेपात्र, तापक, स्वयपाकाचीं धातुपात्रें इत्यादिकास लाकडी अथवा इतर कोणत्याहि कुसंवाहि वस्तूची मूठ (हस्तक = handle) बसविली असल्यास ही पात्रें तप्तस्थितीत असताना या मुठीच्या साहाय्याने ती उचलणें, अथवा हलविणे बरच सुकर होते

डेव्हीचा अभय दीप (*Davy's Safety lamp*)

दाहकाच्या ज्वालेवर तारेची-जाळी धरल्यास, ज्योत जाळीच्या खालच्या भागातच असते आकृति १५–७ अ पाहा दाहकाची ज्योत विझवून त्यावर थोड्या अंतरावर जाळी धरून जाळीवरील दाहक वातीत जळती काडी धरल्यास, जाळीवरील दाहक वात पेट घेतो, परंतु जाळीतून खालच्या भागात ज्योत पसरत नाही [आ १५–७ (आ) पाहा] वरील घटनेचे कारण असे की, ज्योतीशी स्पर्शित असलेल्या जाळीच्या तारातून उष्माराशि बऱ्याच जास्त प्रमाणात संवाहित होऊन, जाळीच्या दुसऱ्या भागावरील दाहक-वातीचा ताप ज्वलन-तापाइतका वाढत नाही

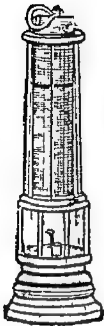


आ. १५–७ (अ)



आ १५–७ (आ)

कोळशाच्या खाणीतील उत्खननात कित्येक प्रसंगी प्रस्फोटक (explosive) वाति बऱ्याच जास्त प्रमाणात उत्पन्न होतात या वातीचा जळत्या ज्योतीशी संस्पर्श होताच उत्स्फोट होऊन मनुष्य हानि वरीच होते ही आपत्ती टाळण्याची योजना डेव्हीच्या अभय दीपात (Davy's safety lamp) केलेली आहे आकृति १५–७ (इ) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे दीपाच्या ज्योतीभोवती ताब्याच्या तारेची दाट जाळी असते या जाळीतून आतील जळत्या वातीची ज्योत जाळीच्या बाहेर पसरत नाही स्फोटक वाति जास्त प्रमाणात उत्पन्न झाल्यास निळ्या रंगाची लहान ज्योत दीपाच्या ज्योतीवर टोपीसारखी दिसू लागते ज्योतीच्या वरील प्रकारच्या रंगभेदावरून खाणीत स्फोटक वाति जास्त प्रमाणात उत्पन्न झाल्याची कामकऱ्यांस पूर्व सूचना मिळते.



तरल आणि वायु हे प्रायः कुसंवाहक आहेत. परीक्षण नळीत हिमाचा तुकडा शिशाच्या तुकड्याला बांधून नळीतील पाण्याच्या तळाशी ठेवावा (आकृति १५-८ पाहा). मुक्त पृष्ठाजवळील पाणी ज्योतीने तापवून तेथील पाण्याचे बुडबुडे होऊ लागले तरी नळावरील सर्व हिमाचे तरलन झालेले दिसत नाही. वरच्या तप्त पाण्यातील ऊष्मा खालच्या भागात केवळ संवाहनानेच जाऊ शकतो आणि ही संवाहित ऊष्माराशी अल्प असल्यामुळे नळीतील हिम लवकर वितळत नाही.

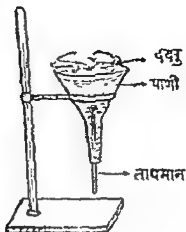


आ. १५-७ इ

आ. १५-८

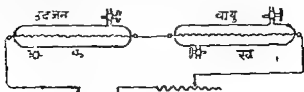
निवापातील पाण्याच्या पृष्ठावर थोडा द्रव टाकून तो द्रव पेटविला तरी निवापातील पाण्याचा ताप फारसा वाढत नाही, कारण द्रवतरल आणि पाणी ही दोन्ही कुसंवाहक आहेत (आकृति १५-९ पाहा).

वायु कुसंवाहक आहेत त्यातल्या त्यात हवेची संवाहिता इतर वायूंच्या मानाने जास्त आहे हे पुढील प्रयोगात दिसून येते. क आणि ख या दोन नळ्यांत अनुक्रमे वायु आणि



आ. १५–९

उद्जन भरलेले आहेत (आकृति १५–१० पाहा). ह्या नळयाच्या स्वक्षातून महातूच्या दोन समान तारा बसविल्या आहेत. या तारा परस्परास जोडून त्यातून पुरेसा विद्युत्प्रवाह (electric current) सोडल्यास, ख मधील तार रक्तोष्ण होते परंतु, क मधील उद्जन वातीतून ऊष्मा जास्त प्रमाणात संवाहित झाल्याने क मधील तारेचा ताप रक्तोष्ण स्थितीपर्यंत वाढत नाही



आ १५–१०

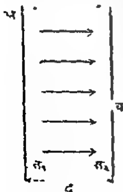


आ. १५–११

धातूचा जाड पत्रा रक्तोष्ण-स्थितीत असता त्यावर थोडे पाणी शिडकल्यास या पाण्याने पत्रा ओला न होता पाण्याचे थेंब पत्र्यावर तरंगतातसे वाटते. पत्र्यावर शाईसारख्या काळ्या विलयनाचा बिन्दु टाकून आकृति १५–११ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे मेणबत्तीच्या ज्योतीकडे पाहिल्यास शाईचा बिन्दु आणि धातूचा तप्त पत्रा यामधून ज्योत दिसते यावरून शाईचा बिंदु आणि तप्त पत्रा यांचा एकमेकाशी स्पर्श होत नाही हे स्पष्ट होईल विद्युत परिपथाची (electrical circuit) योग्य जुळणी करून तरल–बिन्दु आणि तप्त धातुपत्रा सस्पर्शित नाहीत हे दाखविता येते. तप्त पत्र्यावरील तरलबिन्दूच्या या स्थितीस 'गोलाभीय स्थिति' (spheroidal state) म्हणतात. या घटनेचे स्पष्टीकरण असे की, तरल–बिन्दूचा रक्तोष्ण धातुपत्र्याशी स्पर्श होताच काही तरलाचे बाष्पन होऊन या बाष्पाच्या पातळ थरावर तरल–बिन्दु आधारित होतो बाष्प कुसंवाहि असल्याने त्यामधून तरलास मिळणारी उष्मा अल्प असतो अर्थातच तरलबिन्दूत उरलेल्या तरलाचे बाष्पस्थितीत रूपांतर लवकर होत नाही. पत्र्याचा ताप न्यून होऊ दिल्यास तरलाचा पत्र्याशी स्पर्श होतो यामुळे तरलाचे शीघ्र बाष्पन होऊन पत्र्यावरून बाष्पाचा स्फोट वर येताना दिसतो गोलाभिय स्थितीमधील तरल–बिन्दूचे आवेपन, परिभ्रमण इत्यादींचा अभ्यास मनोरंजक आहे.

कापसाच्या कपड्यापेक्षा लोकरीच्या कपड्यातील तंतू–मधील अवकाशात वायु जास्त प्रमाणात असतो आपण लोकरीचे कपडे घातल्याने शरीरातील उष्म्यापैकी अल्प उष्मा या तंतूमधील वायूद्वारे बाहेर

संवाहित झाल्यानें आपणास थंडी भासत नाही लोकरी कपड्यात, घोंगडीत अथवा लाकडी भुशात ठेवलेला हिम बराच वेळपर्यंत वितळत नाही याचे कारण, घोंगडीच्या ततूजालातील वायु आणि भुशाच्या कणामधील वायु कुसंवाहक असल्याने आतील हिमास बाहेरील ऊष्मा फार अल्प प्रमाणात मिळतो. भिंतीच्या दोन पार्श्वाकडील विटांच्या थरात थोडें अंतर ठेवल्यास, दोन थरातील वायु कुसंवाहक असल्याने उन्हाळ्यात बाहेरील भागाकडून आत होणारे ऊष्मासंवाहन फार अल्प असते तसेच, हिवाळ्यात आतील ऊष्माहि या भिंतीच्या बाहेरील भागाकडे अल्प प्रमाणातच संवाहित होतो, म्हणून अशा भिंती असलेली घरें उन्हाळ्यात आणि हिवाळ्यात त्रासदायक वाटत नाहीत मातीच्या भिंती असलेल्या घरात उन्हाळ्याचा त्रास तितकासा होत नाही, कारण या भिंती बहुधा बऱ्याच रुंद असतात आणि मातीच्या कणावरणातील पोकळीत वायु बराच असतो विटा, चुना, सिमेंट यांच्या पक्क्या बांधणीत वायूचे प्रमाण उपेक्षणीय असल्याने, या बांधणीच्या भिंती रुंद नसल्यास बाहेरील ऊष्मा जास्त प्रमाणांत घरात संवाहित होतो विशेषत बांधकामात लोखंड (सुसंवाहक) बरच असल्यास अशा घरात उन्हाळ्याचा बराच त्रास होतो



आ. १५-१२

ऊष्मा-संवाहितेचें (thermal conductivity) निश्चयन

वस्तु-द्रव्यांतील ऊष्मा संवाहितेचे निश्चयन करावयाचे योजल्यास, या निश्चयनातील कल्पना जास्त स्पष्ट करणें अवश्य आहे कल्पना करू की, आकृति १५-१२ मध्ये

दर्शविलेली अ व ही भित समाग (homogeneous) भूतद्रव्याची असून त्याच्या अ आणि व पृष्ठाचे क्षेत्रफळ बरेच विस्तृत आहे. अ या पृष्ठाचा त₁ ताप स्थिर असून व या पृष्ठाचा त₂ तापहि स्थिर आहे त₁ > त₂ असल्यास अ पृष्ठावरून व पृष्ठाकडे ऊष्मा सवाहित होईल या पृष्ठाच्या मध्यभागातून सवाहित होणाऱ्या ऊष्माराशी सबधी सपरीक्षेने पुढील प्रचिती मेते

(१) सवाहित होणारी ऊष्माराशि पृष्ठाच्या क्षेत्रफळाशी अनुपाति असते म्हणजे पृष्ठाचे क्षेत्रफळ ज्या प्रमाणात वाढवावे त्याच प्रमाणात सवाहित होणारी ऊष्माराशि वाढते.

(२) सवाहित होणारी ऊष्माराशि कालखण्डाशी अनुपाति असते. एका काष्ठिकेत जितकी ऊष्माराशि सवाहित होईल तितकीच ऊष्माराशि दुसऱ्या काष्ठिकेत सवाहित होईल

(३) सवाहित ऊष्माराशि अ आणि व या पृष्ठाच्या (त₁ − त₂) या तापभेदाशी अनुपाति असते

(४) सवाहित ऊष्माराशि अ आणि व पृष्ठातील अतराशी प्रतीपानुपाति असते अ आणि व पृष्ठामधील अतर वाढवल्यास या अतराच्या व्यस्त प्रमाणात सवाहित ऊष्माराशी न्यून होते

वरील प्रचितीच्या आधार योजलेल्या भिन्न भिन्न सपरीक्षा करून, त्यांपासून एका विशिष्ट भूतद्रव्याच्या सवाहितेच्या अही गणन केल्यास या अहींतहि सुसगतता आढळते. ह्यावरून, ऊष्मा सवाहना-सबधी वरील प्रचिती सत्य असल्याचे प्रत्यतर येते.

क्ष क्षेत्रफळ असलेल्या अ आणि व पृष्ठामधील अतर द असून

क काष्ठिकात सवाहित होणारी ऊष्माराशि रा असल्यास, सवाहित ऊष्माराशि आणि वरील विवेचनातील इतर भौतिकीय राशी याचा सबध खाली लिहिल्याप्रमाणे दर्शविता येतो

$$\text{रा} \propto \frac{\text{क्षे} \times (\text{त}_1 - \text{त}_2) \times \text{क}}{\text{द}}$$

हा सबध पुढीलप्रमाणे समीकार स्वरूपात लिहिला आहे

$$\text{रा} = \text{वा} \times \text{क्षे} \times \frac{(\text{त}_1 - \text{त}_2)}{\text{द}} \times \text{क} \ldots (\text{स. } १५\text{–}१)$$

या समीकारातील वा राशीव्यतिरिक्त इतर सर्व राशींचे *साधित्राच्या योग्य कृतीने मापन करून, वा च्या अर्हेचे गणन* केल्यास असे दिसून येते की, वा ची अर्हा सपरीक्ष्य वस्तूच्या द्रव्यावर अवलबून आहे उदाहरणार्थ, भिन्न रीतीत ताब्याचा परीक्ष्य धातू म्हणून उपयोग केल्यास, वा ची अर्हा सारखीच असल्याचे आढळून येते वा राशीस वस्तुद्रव्याची 'ऊष्मा सवाहिता' म्हणतात

समीकार १५–१ मध्ये क्षे = १ (सि मी)^2, $(\text{त}_1 - \text{त}_2)$ = १°स, द = १ सि मी आणि क = १ काष्ठिका ह्या अर्हा आदिष्ट केल्यास,

$$\text{रा} = \text{वा} \times १ \times \tfrac{१}{१} \times १ = \text{वा}$$

यावरून, वस्तुद्रव्याच्या पृष्ठांमधील अंतर १ सि मी असून त्या पृष्ठांचा तापभेद १°स असल्यास, १ वर्ग सि मी क्षेत्रफळाच्या पृष्ठांतून १ काष्ठिकेत सवाहित होणारी ऊष्माराशि वा असते अशी वस्तुद्रव्याच्या ऊष्मा सवाहितेची परिभाषा देता येईल.

समीकार १५–१ वरून,

$$\text{वा} = \text{रा} \times \frac{\text{द}}{(\text{त}_1 - \text{त}_2)} \times \frac{1}{\text{क्षे} \times \text{का}}$$

$$= \frac{\text{उष्माराशि} \times \text{आयाम}}{(\text{ततिकाल})(\text{क्षेत्रफळ})(\text{काष्ठिका})}$$

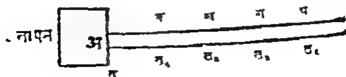
$$= \frac{\text{उष्माराशि}}{(\text{कालकाल})(\text{आयाम})(\text{काष्ठिका})}$$

यावरून, उप, प्रति सि. मा, प्रति कालिमान, प्रतिकाष्ठिका अशा एककात या राशी दर्शविता येते

वरील विवेचनात अ आणि ब पृष्ठांचे क्षेत्रफळ सर्वच आहे असावे असे म्हटले आहे, कारण या स्थितीत अ आणि ब या पृष्ठांच्या वऱ्याच विस्तीर्ण भागावरील उष्मावहनाची दिशा या पृष्ठतलाच्या लंब दिशेत आहे असे मानता येते.

नग्न दण्डाची स्थिर ताप अवस्था

आकृति १५–११ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे एका समरूप दण्डाचे अ टोक योग्य तापनात ठेवून त्याचा त ताप स्थिर ठेवला तरी या स्थितीत दण्डाच्या क, ख, ग, घ इत्यादि भागांचे मापन ठेवल्यास

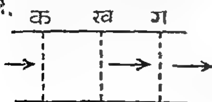


आ १५–११

तापमानाच्या वाचनाने तप्त दण्डाच्या भिन्न भागाच्या तापपरिवर्तनाचा अभ्यास करता येतो. अ टोक तापविल्याने प्रथम क भागाचा ताप वाढू लागतो त्यानंतर ख भागाचा ताप वाढून क्रमाक्रमाने ग, घ इत्यादि दूरच्या भागाचा ताप वाढू लागतो याचवेळी क, ख इत्यादींचा ताप पूर्वीपेक्षा जास्त वाढलेला असतो दण्डाच्या प्रत्येक भागाचा ताप अशा रीतीने हळूहळू वाढत असल्यास दण्डाच्या या स्थितीला 'तापीय चल अवस्था' (variable state) असे म्हणतात

दण्डाचे अ टोक तापनात बराच काळ राहू दिल्यास क भागाचा वाढणारा ताप स्थिर होतो त्यानंतर ख भागाचा ताप निराळ्याच अर्हेवर स्थिर होतो अशा रीतीने इतर भागाचेहि ताप क्रमाक्रमाने स्थिर होतात अ, क, ख, ग आणि घ या भागाचे स्थिर ताप अनुक्रमे $त$, $त_1$, $त_2$, $त_3$ आणि $त_4$ ने दर्शविल्यास, $त > त_1 > त_2 > त_3 > त_4$ असल्याचे आढळून येते तापलेल्या टोकापासून जसजसे दुसऱ्या टोकाकडे जावे तसतसा त्या भागाचा स्थिर ताप न्यून होत जातो तप्तदण्डाच्या सर्व भागाचे ताप स्थिर झालेले असल्यास दण्डाच्या या स्थितीला 'स्थिर ताप अवस्था' (steady state) असे म्हणतात

तापीय चल अवस्थेचे विवेचन पुढीलप्रमाणे करता येईल आकृति १५–१४ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे दण्डाचे क आणि ख अनुप्रस्थ छेद पुरेसे जवळ आहेत असे मानल्यास, क ख मधील भागाचा ताप एकरूप आहे असे मानता येईल क येथील अनुप्रस्थ छेदातून डावीकडे प्रवाहित झालेली ऊष्माराशि रा, ने दर्शविल्यास, या



आ १५–१४

ऊष्माराशीचा विनियोग पुढीलप्रमाणे होतो. या ऊष्माराशीपैकी, (१) काही भाग क ख मधील दण्डाच्या विगोपित वक्रपृष्ठावरून सभोंवारच्या वायूस प्रत्यक्ष सस्पर्शाने आणि विकिरणाने मिळतो ही ऊष्माराशि रा' ने दर्शवू, (२) काही ऊष्माराशीने दण्डाच्या क ख मधील भागाचे तापवर्धन होते. तापवर्धनात व्यय झालेली ऊष्माराशि रा'' ने दर्शवू, (रा'' = क ख मधील दण्डाचा पुंज × आपेक्षिक ऊष्मा × तापवर्धन) (३) आणि शेष ऊष्माराशि ख येथील अनुप्रस्थ छेदातून ख च्या उजवीकडील न्यून ताप असलेल्या भागाकडे सवाहित होते व ख मधून सवाहित होणारी ही शेष ऊष्माराशि $रा_२$ ने दर्शवू. वरील चारहि ऊष्माराशीचा संबंध पुढील समीकाराने दर्शविता येतो

$$रा_१ = रा_२ + रा' + रा''$$

$$= रा_२ + रा' + (\text{पुंज} \times \text{आपेक्षिक ऊष्मा} \times \text{तापवर्धन})$$

$$रा_१ = रा_२ + रा' + (\text{क ख मधील दण्डाची तापीय धारिता} \times \text{तापवर्धन})$$

वरील समीकारावरून लक्षात येईल की, सुसंवाहनातून सवाहित होणारी ऊष्माराशि $रा_२$ ही जास्त असूनहि तापवर्धन क,ख मधील भागाच्या तापीय धारितेवर अवलंबून असल्याने या भागाची तापीय धारिता जास्त असल्यास तापवर्धन शीघ्र होणार नाही.

दोन भिन्न द्रव्याचे समरूप दण्ड एकाच तापनाने वरप्रमाणे तापवताना, एका दण्डाच्या क, ख, ग इत्यादि भागाचा ताप दुसऱ्या दण्डाच्या सवादि (corresponding) क, ख, ग इत्यादि भागाच्या तापापेक्षा त्वरेने वाढल्यास, पहिल्या दण्डाची सवाहिता दुसऱ्या दण्डाच्या सवाहितेपेक्षा जास्त आहे असे म्हणता येणार नाही. याचे कारण असे आहे की, तापवर्धनाची शीघ्रता केवळ ग, सर

अवलंबून नसून ती दण्डद्रव्याची घनता आणि त्याचा आपेक्षिक ऊष्मा या दोहोंच्या गुणनफलावर अवलंबून असते.

दण्डाच्या निरनिराळ्या भागाचा ताप स्थिर झाल्यानंतर (म्हणजे तापीय स्थिर अवस्था प्राप्त झाल्यानंतर) तापवर्धनाला लागणारी रा'' ऊष्माराशी शून्य असते. अशा स्थितीसंबंधीचा समीकार पुढीलप्रमाणे लिहीता येईल.

$$रा_1 = रा_2 + रा'$$

दण्डाचा विगोपित वक्रपृष्ठभाग लोकर इत्यादि कुसंवाहि वस्तुद्रव्यांनी योग्य रीतीने झाकल्यास, विगोपित भागातून होणारी रा' ऊष्माहानि उपेक्षणीय असते. दण्डाच्या अशा स्थिर ताप अवस्थेत वरील समीकार पुढीलप्रमाणे लिहीता येतो.

$$रा_1 = रा_2$$

अशा स्थितीत ख ग या भागात ख ह्या अनुप्रस्थ छेदातून ग कडे संवाहित होणारा ऊष्मा $रा_2$ असून ग ह्या अनुप्रस्थ छेदातून घ कडे संवाहित होणारा ऊष्मा $रा_3$ असल्यास, वरील विवेचनानुसार,

$$रा_1 = रा_2 = रा_3 = \quad . रा$$

असा संवाहित ऊष्माराशींचा संबंध दर्शविता येईल यावरून, लक्षात येईल की, स्थिर ताप अवस्थेत कुसंवाहकानें परिवेष्टित असलेल्या तप्त दण्डाच्या भिन्न अनुप्रस्थ छेदातून समान ऊष्मा संवाहित होतो क, ख, ग आणि घ येथील स्थिर ताप अनुक्रमे $त_1$, $त_2$, $त_3$ आणि $त_4$ ने दर्शविल्यास दण्डाच्या अनुप्रस्थ छेदातून संवाहित ऊष्माराशि समीकार १५–१ च्या साहाय्याने पुढीलप्रमाणें दर्शविता येते.

$$रा = वा.\,क्षे.\,\frac{त_1 - त_2}{द_1}\,क = वा.\,क्षे.\,\frac{त_2 - त_3}{द_2}\,क = वा.\,क्षे.\,\frac{त_3 - त_4}{द_3}\,क$$

$$\therefore \quad \frac{त_1 - त_2}{द_1} = \frac{त_2 - त_3}{द_2} = \frac{त_3 - त_4}{द_3}$$

पृष्ठांचा तापभेद आणि पृष्ठांतील अंतर या निष्पत्तीला 'ताप प्रवणक' (temperature gradient) म्हणतात. वरील समीकारावरून असे दिसते की, स्थिर ताप अवस्थेतील परिवेष्टित दण्डाच्या कोणत्याहि भागातील ताप-प्रवणकाची अर्हा समान असते. म्हणून,

$$रा = वा \times क्षे \times (ताप\ प्रवणक) \times क$$

अथवा,

$$वा = \frac{रा}{क्षे \times (ताप\ प्रवणक) \times क}$$

वरील समीकारातील ताप-प्रवणकाची अर्हा, अनुप्रस्थ क्षेत्रफळ आणि क यांच्या अर्हा माहीत असल्यास रा ची अर्हा योग्य रीतीने मापून परिक्ष्य दण्डाच्या द्रव्याची संवाहिता (वा) गणन करता येते

सर्लेचें संवाहिता निश्चयन साधित्र

सर्लेच्या पुढील साधित्रात संवाहितेचे निश्चयन दण्डाच्या स्थिर ताप अवस्थेच्या घटनेवरच अवलंबून आहे. परीक्ष्य द्रव्याचा क ख ग घ हा बराच जाड समान्तर दण्ड असून त्याचे क टोक बाष्प वेष्टनात बसविले आहे (आकृति १५-१५ पाहा). क ख ग घ हा दण्ड लाकडीसारख्या दुर्वाहि पदार्थाने परिवेष्टित असतो. वेष्टनातून बाष्प संवाहित करून क टोकाचा ताप स्थिर ठेवतात. दण्डावरील

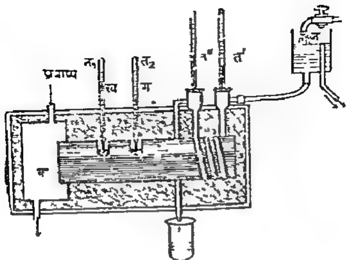
ख आणि ग येथील निरद खाचेत तापमाने ठेवतात तापमानाचे बन्द जेमतेम बुडतील इतका पारद या खाचेत असतो या तापमानाद्वारे ख आणि ग येथील स्थिर तापाची वाचने घेतात हे स्थिर ताप अनुक्रमे $त_1$ आणि $त_2$ असून ख आणि ग मधील अंतर द असल्यास, $\frac{त_1 - त_2}{द}$ ही दण्डाच्या स्थिर ताप अवस्थेतील ताप प्रवणकाची अर्हा होय अनुश्रेणी व्यासमीच्या साहाय्याने दण्डाच्या अनुप्रस्थ छेदाचा व्यास मापून क्षे = प्या $त्र^2$ या सूत्राच्या साहाय्याने क्षे चे गणन करता येते रा ची अर्हा मापण्यास घ भोवती गुंडाळलेल्या ताम्याच्या पातळ कुतलाकार नळीतून नियंत्रित केलेला पाण्याचा प्रवाह सोडतात स्थिर ताप अवस्थेत या नळीत येणाऱ्या पाण्याचा त' ताप आणि नळीतून बाहेर जाणाऱ्या पाण्याचा त' ताप स्थिर होतात पाण्याचा प्रवाह नियमित असणे अवश्य असल्याने ताम्याची नळी अचल पृष्ठतल असणाऱ्या जलाशयाला आकृति १५–१५ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे जोडलेली असते या नळीतून क काळिकात बाहेर येणारे पाणी चबुकीत अथवा दुसऱ्या एखाद्या योग्य पात्रात साठवून या पाण्याच्या पु पुंजाचे निश्चयन करतात

यावरून, क काळिकात, त्र त्रिज्या असलेल्या दण्डाच्या अनुप्रस्थ छेदातून संवाहित होणारा ऊष्मा रा असल्यास,

$$रा = पु \times (त' - त') = वा \; प्या \; त्र^2 \times \frac{त_1 - त_2}{द} \times क$$

$$पु (त' - त') = वा \times प्या \; त्र^2 \times \frac{त_1 - त_2}{द} \times क$$

... स १५–२



आ. १५–१५

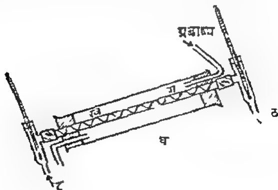
वरील समीकरणातील सर्व राशींचें सपरीक्षेने मापन करून, या घ चें येथें गणन करतां येतें

कुसंवाहकाच्या संवाहिता निश्चयनाचें साधित्र

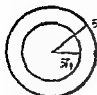
काच, कुपि इत्यादि कुसंवाहकांची संवाहिता सरळच्या वरील रीतीने निश्चित करता येत नाहीं याचें कारण असें कीं, कुसंवाहकांतून संवाहित होणारी उष्माराशि अल्प असते. परिवेष्टित वस्तु पृष्ठावरून विकिरण इत्यादींच्या द्वारें होणारी रा' उष्माहानि कुसंवाहकांतून संवाहित होणाऱ्या $रा_2$ या अल्प उष्माराशीच्या मानानें उपेक्षणीय मानतां येत नाहीं म्हणून आ. १५–१३ (पृ. ३८२) मधील घटापर्यंत पोहोंचणारी उष्माराशि मापून कुसंवाहकाच्या संवाहितेचें

केलेले गणन तितकेसे परिशुद्ध नसत काचेची संवाहिता पुढील मपरीक्षे-वरून निश्चित करता येते

आकृति १५-१६ (अ) मध्ये दर्शविलेल्या ख ग या समरूप वाचनळीत ट मार्गे पाण्याचा नियमित प्रवाह येऊन तो ठ मार्गे बाहेर पडतो नळीत असलेल्या धातूच्या कुंतलाकार तारेमुळे नळीतील पाण्याचे विचालन होऊन नळीच्या कोणत्याहि अनुप्रस्थ छेदातील पाण्याचा ताप समान असतो ख ग नळीभोवती असलेल्या घ रूंद नळीतून बाष्पित्रातील प्रबाष्प प्रवाहित करतात या प्रबाष्पाने ख ग नळीच्या बाहेरील सर्व भागाचा ताप प्रबाष्पाच्या त तापाइतका स्थिर होतो ट मार्गे नळीत शिरणाऱ्या पाण्याचा $त_१$ ताप आणि ठ मार्गे बाहेर येण्याऱ्या पाण्याचा $त_२$ ताप स्थिर झाल्यानतर, क काष्ठिकेत ठ मार्गे बाहेर पडणाऱ्या पाण्याचा (पु) पुंज तुलेने निश्चित करतात समीकार १५-१ मधील इतर राशींच्या अर्हा आदिष्ट करून काचेच्या संवाहितेचे गणन करता येते नळीच्या आतील भागाची आणि बाहेरील भागाची त्रिज्या अनुक्रमे $त्र_१$ आणि



आ १५-१६ (अ)



$त्र_२$ असून (आ. १५–१६ आ पाहा) ल ही सग नळीची घ समावरणातील लांबी असल्यास नळीच्या ज्या पृष्ठातून ऊष्मा संवाहित होतो त्या पृष्ठाचे माध्य क्षेत्रफळ,

आ. १५–१६ (आ)

$$क्षे = २ \times प्या \times \frac{त्र_१ + त्र_२}{२} \times ल.$$

ट आणि ठ येथील पाण्याचा स्थिर ताप अनुक्रमे $त_१$ आणि $त_२$ असल्यास, नळीच्या आतील वक्र पृष्ठाचा माध्य ताप $\frac{त_१ + त_२}{२}$ मानता येईल. ख ग नळीच्या बाहेरील वक्रपृष्ठाचा ताप त असल्यास,

$$\frac{त - \left(\frac{त_१ + त_२}{२}\right)}{(त्र_२ - त्र_१)}$$

ही तापप्रवणताची यहाँ असते.

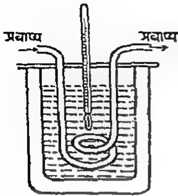
समीकार १५–१ च्या अनुसार,

$$रा = पु. (त_२ - त_१)$$

$$= \frac{वा \left(२\ प्या \times \frac{त्र_१ + त्र_२}{२} \times ल\right)\left(त - \frac{त_१ + त_२}{२}\right) क}{(त्र_२ - त्र_१)}$$

या समीकरणाच्या साहाय्याने वा चे गणन करतां येते.

पुढील योजनेने पृदोच्या संवाहितेचे गणन करतां येते. ल लांबीची धुपि-नळी उपमानातील पाण्यात बुडवून या नळींतून



आ. १५–१७

प्रवाष्प प्रवाहित करतात. (आकृति १५–१७ पाहा). क वाष्ठिकात उष्मानातील पाण्याचा ताप $त_१$ पासून $त_२$ इतका वाढल्यास उपमानास आणि त्यातील पाण्यास सवाहनद्वारा [$ज \times (त_२ - त_१)$] इतका ऊष्मा क वाष्ठिकात मिळतो उष्मान आणि त्यातील पाणी याचा जलसमाई ज ने दर्शविल्यास,

$$रा = ज(त_२ - त_१)$$

$$= \frac{वा.\left(२\text{व्या} \times \frac{त्र_१ + त्र_२}{२} \times ल\right)\left(त - \frac{त_१ + त_२}{२}\right)क}{त्र_२ - त्र_१}$$

वरील रीतीत पुरेशी परिशुद्धता साधणें शक्य नसतें.

कुसवाहकाच्या ऊष्मासवाहितेचे निश्चयन विम्ब रीतीने पुढील प्रमाणें करतात.

$ख_१$ आणि $ख_२$ ह्या परीक्ष्य साद्राच्या वर्तुळाकार तबकड्या असून आकृति १५–१८ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणें $क_१$, $ग_१$, $क_२$ आणि $ग_२$ या पातळ वर्तुळाकार ताम्याच्या तबकड्या अनुक्रमें $ख_१$ आणि $ख_२$ यास सस्पर्शित ठेवलेल्या असतात. $क_१$ आणि $क_२$ याच्या मध्ये अ हा कुंतलाकार विद्युत्संवाहक असतो. $क_१$, $क_२$, $ग_१$ आणि $ग_२$ या ताम्याच्या तबकड्या पातळ असल्याने प्रत्येक तबकडीचा समताप

$$\therefore \quad \frac{व^2 र}{या} = ख_1 \text{ आणि } ख_2 \text{ मधून प्रतिकाष्ठिकेत [सवाहित ऊष्माराशी.}$$

$$= २ \left\{ \frac{वा\ (प्या\ त्र^2)\ (त_1 - त_2)}{द_1} \right\}$$

वरील समीकारात $त्र_1$ ही $ख_1$ परीक्ष्य तबकडीच्या पृष्ठतलाची त्रिज्या असून $द_1$ ही त्या तबकडीची जाडी आहे

प्रश्न

(१) धातूच्या सवाहितेचे निश्चयन करण्याच्या रीतीचे वर्णन करा.

स्थिर ताप दण्डाच्या रीतीत दण्डाच्या अनुप्रस्थ छेदाचा व्यास मोठा असणे का आवश्यक आहे याचे स्पष्टीकरण द्या

(२) न्युद्वहनाचा उपयोग करून शीत कटिबंधाजवळील प्रदेशात घरे इत्यादीतील ताप मानवी जीवनास सुखावह ठेवण्याची कोणती योजना असते ते सविस्तर लिहा

(३) लोखंडी बाष्पित्राच्या पत्र्याचे क्षेत्रफळ २५ वर्गमान आणि त्याच्या पत्र्याची जाडी १.२५ सि मा असून भट्टीचा ताप १२०° श असल्यास, प्रत्येक काष्ठिकेत बाष्पन होणाऱ्या पाण्याच्या पुंजाचे गणन करा

(प्रबाष्पाचा गुप्त ऊष्मा ५३६ उप असून लोखंडाची सवाहिता •२ आहे)

(४) तांब्याच्या पत्र्याची जाडी १ सें मी. असून हा पत्रा ०·९ सें मी इतकी जाडी असलेल्या लोखंडी पत्र्याशी जोडलेला आहे. जोडपत्र्याच्या बाहेरील पृष्ठाचा स्थिर ताप अनुक्रमे १००° श आणि ०° श असल्यास, पत्र्यांचे पृष्ठतल ज्या ठिकाणी एकमेकास जोडले आहेत त्या भागाचा स्थिर ताप काय असावा ?

(तांबे आणि लोखंड यांच्या सवाहितेच्या संख्या अनुक्रमे १·०४ आणि ·१५ आहेत)

(५) सरोवराच्या पृष्ठावर हिमाचा २ सें मी. जाडीचा थर असून वायूचा ताप −१०° श, असल्यास, हिमथराची जाडी १ सहस्रिमान वाढण्यास किती काळ लागेल ?

(हिमाची सवाहिता ·००५ असून हिमाचा गुप्त उष्मा ८० उष आहे)

★ ★ ★ ★

प्रकरण १६

ऊष्मा विकिरण

सूर्यापासून आपणास प्रकाश आणि ऊष्मा मिळतो. सूर्यापासून ऊष्म्याच्या या संक्रमणाचा विचार करताना पुढील घटना लक्षात ठेवणे आवश्यक आहे सूर्य आणि पृथ्वी यामधील माध्य अंतर ९,२८,७०,००० क्रोशक (miles) आहे. तसेच, पृथ्वीच्या वातावरणातील दोन अडीचशे क्रोशकापलीकडील वायूची घनता अल्प म्हणून उपेक्षणीय आहे म्हणजे, सूर्य आणि पृथ्वी यामधील अवकाशाचा बराच मोठा भाग भूतद्रव्यहीन आहे या भूतद्रव्यहीन अवकाशातून सूर्याचा ऊष्मा आपणास मिळतो ऊष्म्याचे संवाहन किंवा न्युद्वहन हे भूतद्रव्याच्या एका भागातून दुसऱ्या भागात होते. भूतद्रव्यहीन अवकाशातून होणारे सूर्याच्या ऊष्म्याचे संक्रमण अर्थात् निराळ्याप्रकारे होते ऊष्मा-संक्रमणाच्या या प्रकारास 'विकिरण' (radiation) ही संज्ञा आहे

पेटलेल्या भट्टीसमोर आपण उभे राहताक्षणीच भट्टीपासून आपणास ऊष्मा मिळतो भट्टीच्या समोवारचा वायु कुसंवाहक असल्याने वायूतून संवाहनद्वारा येणारा ऊष्मा अल्प राहील अर्थात् भट्टीपासून जास्त प्रमाणात मिळणारा हा ऊष्मा संवाहन रीतीने संक्रामित होत नाही हे निश्चित तसेच, आपण भट्टीच्या एका अंगास असल्याने न्युद्वहनाच्या क्रियेने आपणास ऊष्मा मिळणे शक्य नसते यावरून, विकिरणाच्या क्रियेने भट्टीपासून आपल्याला ऊष्मा मिळतो. खग्रास सूर्यग्रहणात सूर्यबिंब बाहेर पडताच प्रकाश आणि ऊष्मा हे दोन्हीहि एकाचवेळी आपणास मिळतात यावरून, प्रकाश आणि विकिरणद्वारा संक्रामित होणारा ऊष्मा या दोहोंचा अंतर क्रमण्याचा प्रवेग सारखाच असतो हे लक्षात येईल.

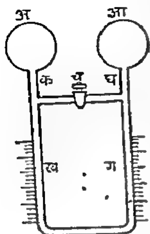
जलाशयातील पाण्यात जड पदार्थ टाकल्यास, पाण्याच्या पृष्ठावर तरंग उत्पन्न होतात आणि हे तरंग पाण्याच्या पृष्ठावर पसरतात. पाण्याच्या पृष्ठावरील तरंगात जलद्रव्याच्या लहान भागाचें स्थिर स्थानापासून आवेपन होतें. आवेपित भागाची गति दुसऱ्या निकटवर्ती भागास मिळून पहिल्या भागातील गति–ऊर्जा या निकटवर्ती भागातील पाण्यास मिळते. अशाप्रकारे, तरंगाद्वारे ऊर्जेचें संक्रमण होतें. ज्या वस्तुद्रव्यात तरंग उत्पन्न होतात त्या वस्तुद्रव्यास तरंगाचें 'माध्यम' (medium) ही संज्ञा आहे. दीप्त वस्तु-पासून प्रकाश आणि उष्मा तरंगद्वारें सूर्यमालेच्या अवकाशात पसरतात म्हणजे प्रकाश आणि उष्मा यांचें गमन (propagation) तरंगगतीनें होतें असें मानल्यास मूलद्रव्यहीन अवकाशातून उष्मो-र्जेचें संक्रमण होण्यास या अवकाशातील कोणत्या माध्यमाचें (medium) आवेपन होत असावें याची कल्पना करणें कठीण आहे. कोणत्याहि माध्यमाच्या साहाय्याशिवाय प्रकाश–ऊर्जा आणि उष्मा–ऊर्जा एका स्थानापासून दुसऱ्या स्थानापर्यंत जाऊ शकतात ही कल्पना १८ व्या शतकातील शास्त्रज्ञांस मान्य नव्हती. या काळातील शास्त्रज्ञांची कल्पना (hypothesis) अशी होती की, 'व्योम' (ether) या माध्यमानें अखिल विश्व व्यापलेलें आहे, आणि विश्वातील सर्व मूलद्रव्यात आणि मूलद्रव्यहीन अवकाशात व्योम पसरलेला असून या व्योमाच्या तरंगगतीनें प्रकाश–ऊर्जा आणि उष्मा–ऊर्जा विश्वाच्या एका भागातून दुसऱ्या भागात जाऊ शकतात. व्योमाचें आवेपन होऊ शकतें या व्यतिरिक्त व्योमाच्या अन्य कोणत्याहि गुणधर्माविषयीं निश्चितरूपें काहीच सांगता येत नसे. म्हणून १९ व्या शतकाच्या शेवटी विश्वव्यापी व्योम कल्पना बरीच असमाधान-कारक असल्याचें शास्त्रज्ञांस पटू लागलें होतें. आईन्स्टाईनच्या (Einstein) सापेक्षता सिद्धान्तात (theory of relativity) अवकाशातील प्रकाश–वेगाची मर्यादा ही ईक्षकाच्या (observer)

गति–निरपेक्ष असलेली स्थिर राशि मानली असल्याने विश्वव्यापी व्योम कल्पना अनावश्यक ठरली आहे. तथापि व्योम–तरंग सिद्धांतातील काही परिभाषा शास्त्रीय विवरणात सोयीच्या असल्याने ह्या परिभाषा आजहि रूढ आहेत उदाहरणार्थ, प्रकाश तरंगाची लांबी ५·८ × १० ⁻⁵ शि मा आहे, प्रकाशतरंगाची प्रतिसेकंदांतील आवर्तनसंख्या ५ × १०¹⁴ इतकी आहे, इत्यादि वाक्यप्रयोग आजहि प्रचारात आहेत. ही परिभाषा योजून, सूर्यप्रकाशातील सप्तरंगी प्रकाशापैकी, तांबड्या (रक्तवर्ण) प्रकाश तरंगाची लांबी स्थूलमानाने ७५ × १०⁻⁵ शि मा असून जांभळ्या रंगाच्या (जंबुवर्ण) प्रकाशतरंगाची लांबी स्थूलमानाने ४ × १० ⁻⁵ शि मा आहे असे म्हणता येईल ७५ × १० ⁻⁵ शि मा पेक्षा जास्त तरंगायाम (wave length) असलेल्या तरंगानी आपल्या डोळ्यास प्रकाश–संवेदना न होता या तरंगांनी आपल्या शरीरास ऊष्मा–संवेदना होते. तरंगाची लांबी ४ × १० ⁻⁵ शि मा पेक्षा न्यून असल्यास या तरंगामुळेहि आपल्या डोळ्यास प्रकाश–संवेदना होत नाही, तथापि या तरंगातील ऊर्जेमुळे काही रासायनिक क्रिया घडून येतात ऊष्मा प्रकाश यांच्या तरंगाची लांबी आणि रसायनिक क्रिया याचा परस्पर संबंध या विषयी जास्त विवेचन प्रकाश विभागात पुढे येईल ऊष्माविकिरणाच्या अभ्यासात योजलेल्या काही साधित्राची (apparatus) माहिती देऊन, विकिरित ऊष्म्याचे वस्तुद्रव्यात होणारे प्रचूषण (absorption), वस्तुद्रव्यातील उष्म्याचे उदगिरण (emission) आणि उदगिरणामुळे वस्तुद्रव्याचे होणारे शीतन इत्यादि घटनाच्या अभ्यासाचे विवेचन या प्रकरणात केले आहे

तापभेदमान

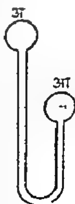
(Leslie's differential thermometer)

ऊष्मा विकिरणाच्या अभ्यासात साधारणपणे ऊष्माराशि



आ १६–१

अल्प असते या अल्प ऊष्म्याच्या प्रचूषणाने होणारे अल्प तापवर्धन परिशुद्धतेने दर्शविणारे तापमान फार सुग्राही (sensitive) असावे लागते. अ आणि आ हे काचेचे दोन गोलाकार कन्द असून आकृति १६–१ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे हे कन्द कखगघ या काचनळीने जोडलेले असतात. दोन्ही कन्दातील वायू समनिपीडावर असल्यास ख आणि ग भागातील तरलस्तम्भाची (रंगीत पाण्याची) उंची समान असते. सपरिसीत एक कन्द पूर्णपणे आवृत (screen) करतात. दुसऱ्या कन्दाचा पृष्ठ काजळाने पूर्णपणे कृष्णवर्ण करून तो कन्द विकिरित ऊष्म्याच्या मार्गात ठेवतात. या स्थितीत च पिधा बंद असते. कन्दाच्या कृष्णवर्ण पृष्ठावर पडणाऱ्या विकिरित ऊष्म्याचे प्रचूषण होऊन त्या कन्दातील वायूचा ताप वाढतो. तापवर्धनाने वायूचे निपीड वाढते. यामुळे ख आणि ग या भागातील तरलस्तम्भाची उंची असमान होते. च पिधा उघडून अवश्य तर अ आणि आ यातील वायूचे निपीड समान करता येते. या उपकरणास 'लेस्लीचे तापभेदमान' म्हणतात. या प्रकारच्या तापभेदमानाचा एक पर्याय आकृति १६–२ मध्ये दाखविला आहे. अ आणि आ हे काचेचे समरूप कन्द ऊर्ध्वबाहु काचनळीने जोडलेले आहेत. नळीत सुरासार (alcohol) अथवा ईथर (ether) यासारखे



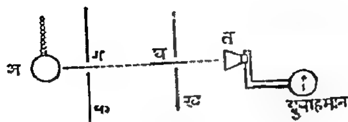
आ १६–२

कोष्ठतापावर पुरेसे बाष्प-निपीड असणारे तरल असून, तरलस्तम्भावरील भागात याच तरलाचे बाष्प असते. एका चबूच्या पृष्ठास काजळ लावलेले असून विकिरित ऊष्म्याच्या प्रचूषणाने या चबूतील बाष्पाचा ताप वाढून बाष्पाचे निपीडहि वाढते. या निपीडवर्धनाने ऊर्ध्वबाहूतील तरलस्तम्भाची उंची असमान होते. या साधित्राला 'दक्ष तापेक्ष' (ether thermoscope) म्हणतात

ऊष्माविकिरणाच्या प्रारंभीच्या अभ्यासात वरील तापभेदमानांचा उपयोग करीत आधुनिक काळात तापचितीं (thermopile) आणि रोधविकिरणमान (bolometer) यांचा उपयोग करतात. तापचितीला द्युवाहमान (galvanometer) जोडलेले असून या द्युवाहमानातील देप्टयाच्या व्याकोचनाने विकिरित ऊष्मा-राशीचे मापन करतात वरील दोन्ही उपकरणाचे जास्त विवेचन विद्युत्-विभागात केले आहे

विकिरित ऊष्म्याचा आणि प्रकाशाचा अवकाशातून (empty space) गमनाचा प्रवेग समान आहे हे मागे सागितलेच आहे प्रकाशाप्रमाणेच ऊष्माविकिरणाचा समाग (homogeneous) माध्यमातील मार्ग ऋजुरेखीय (rectilinear) असतो ऊष्माविकिरणाचे परावर्तनहि प्रकाशाच्या परावर्तनासारखेच होते वरील घटना पुढील सपरीक्षेवरून स्पष्ट करता येतात.

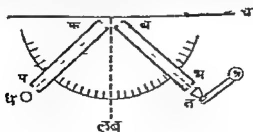
क आणि ख या दोन लाकडी पडद्यात अनुक्रमे ग आणि घ ही दोन छिद्रें असून क पडद्याच्या छिद्रासमोर अ हा दीप्तोष्ण (white hot) धातुगोल ठेवतात आकृति १६-२ पाहा व पडद्यापलीकडे द्युवाहमानाला जोडलेली त ही तापचिती ठेवतात. अ, ग, घ आणि त एकाच सरळ रेषेत असताना द्युवाहमानाच्या देप्टयाचे व्याकोचन बरच जास्त असलेले आढळून येत. या स्थितीतून अ, क, ख अथवा त यापैकी एकहि वस्तु वरील सरळरेषेच्या एका कडेस



आ. १६–३

हालविन्यास, धुवाहमानातील काटा उपेक्षणीय असतो. या प्रयोगावरून असे दिसून येईल की दीप्तोष्ण धातुगोलापासून विकिरित होणाऱ्या उष्म्याचे गमन ऋजुरेषेत होतें

आकृति १६–४ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे पफ आणि बम हे दोन पोकळ रुंद क्षैतिज पातळीत ठेवलेले असून ध हा दीप्तोष्ण धातुगोल पफ रुंभाच्या प तोंडाजवळ ठेवतात. बम रुंभाच्या म तोंडाजवळ त ही तापचिती ठेवलेली असते फ आणि ब टोकाकडील च हा धातूचा चकचकीत पत्रा उदग्र पातळीत अशा रीतीने ठेवतात की, पफ आणि बम मधील कोन पत्र्याच्या लंबाने दुभागला (bisect)



आ १६–४

जाईल. या स्थितीत तापचितीच्या द्युवाहमानाचे व्याकोचन जास्त असल्याचे आढळून येते. पत्रा काढून घेतल्यास तापचितीस धातु-गोलाचा ऊष्मा मिळत नाही पत्रा स्थिर ठेवून घ आणि पफ रम्भ याचे पत्र्याच्या लबाशी भिन्न कोन योजल्यास पत्र्याच्या लम्बाशी पफ आणि बम याचे कोन समान असल्यास द्युवाहमानाचे व्याकोचन सर्वांत जास्त असत.

विकिरित ऊष्म्याच्या परावर्तनाचे दिग्दर्शन पुढील सपरीक्षेने करता येते क आणि ख हे दोन धातूचे चकचकीत न्युब्ज (concave) परावर्तक (reflector) असून अ त या सरळ रेषेत या दोन न्युब्ज तलाचे अक्ष आहेत अ ह्या नाभि–बिन्दूजवळ (focal point) दीप्तोष्ण धातुगोल ठेवतात आणि दुसऱ्या न्युब्जतलाच्या त या नाभि–बिन्दूजवळ योग्य स्थितीत तापचिती ठेवल्यास द्युवाहमानाचे व्याकोचनबरेच असत तापचिती अथवा धातुगोल एका बगास किंवा मागे पुढे हलविल्यास व्याकोचन बरेच अल्प होते उद्ब्ज शीशाच्या (convex lens) साहाय्याने सूर्याच्या प्रकाश रश्मीचे (rays) भुजायन (refraction) होऊन प्रकाशरश्मि शीशाच्या नाभि बिन्दुवर एकत्रित होतात. या स्थितीत नाभि–बिन्दूजवळ कागद अथवा कापूस धरल्यास या वस्तू पेट घेतात यावरून प्रकाशरश्मीप्रमाणे विकिरित ऊष्म्याचेहि भुजायन होते असे दिसून येईल

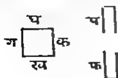


आ १६–५

उद्‌गिरण शक्ति अथवा विकिरण शक्ति
(emissive power or radiating power)

सपरीक्ष्य पृष्ठाच्या १ वर्ग सें मी क्षेत्रफळावरून प्रतिकाष्ठित्व विकिरित झालेली ऊष्माराशि $उ_1$ असून समान तापस्थितीत आणि समान परिस्थितीत पूर्ण कृष्ण (perfectly black) असलेल्या १ वर्ग सें मी क्षेत्रफळावरून प्रतिकाष्ठित्व विकिरित होणारी ऊष्माराशि उ असल्यास, $\frac{उ_1}{उ}$ या निष्पत्तीस सपरीक्ष्य पृष्ठाची 'उद्‌गिरण शक्ति' अथवा 'विकिरण शक्ति' म्हणतात. या निष्पत्तीचे मापन पुढीलप्रमाणे करता येते.

क ख ग घ हा धातूचा चौकोनी डबा असून क, ख, ग आणि घ या उदग्र पृष्ठांस निरनिराळे रंग दिलेले असतात (आकृति १६-६ पाहा). क उदग्र पृष्ठ काजळाने पूर्ण काळा केलेला असून ख हा न्यून (dull black) कृष्ण रंगाचा अथवा धूसर असतो. ग पृष्ठाला पांढरा रंग असून घ पृष्ठ चकचकीत असते. या धातुपात्रासमोर धुवाह्मानाला जोडलेली त तापचिती असते. धातुपात्र आणि तापचिती यामध्ये प फ हा मधोमध छिद्र असलेला धातूचा पडदा ठेवलेला असतो. या पडद्याला दुहेरी भिंती असून भिंतीचा बाहेरील पृष्ठभाग काजळाने काळा केलेला असतो. या योगाने धातुपात्राकडून पडद्यावर येणारी





आ १६-६

विकिरित ऊष्माराशि पडद्यात शोषली जाते. तसेच तापचितीकडून येणारा विकिरित ऊष्माहि पडद्यात शोषला जातो पडद्याच्या आतील भाग चकचकीत असल्याने या भागाकडून तापचितीकडे विकिरित होणारी ऊष्माराशि उपेक्षणीय असते.

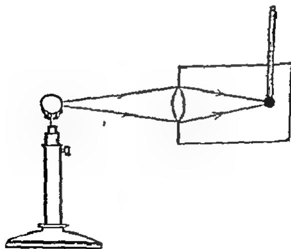
धातुपात्रात उकळते पाणी टाकून क भाग तापचितीसमोर आणतात आणि नतर तापचितीला जोडलेल्या धुवाहमानाच्या व्याकोचनाचे वाचन टिपून घेतात. याचप्रमाणे धातुपात्राचे ख, ग आणि घ पृष्ठ क्रमानमाने तापचितीसमोर आणून धुवाहमानाच्या व्याकोचनाची नोंद करतात. धुवाहमानाचे व्याकोचन हे तापचिती समोरील पृष्ठावरून येणाऱ्या ऊष्माराशीशी अनुपाति असल्याने वर सांगितलेल्या परिभाषेप्रमाणे विशिष्ठ पृष्ठाच्या विकिरण शक्तीची अर्हा गणन करता येते.

काजळ लावलेला पृष्ठ तापचितीसमोर असता धुवाहमानाचे व्याकोचन सर्वांत जास्त असते यावरून काळ्या पृष्ठावरून विकिरित झालेली ऊष्माराशि समान परिस्थितीतील इतर पृष्ठावरून विकिरित होणाऱ्या ऊष्माराशीपेक्षा जास्त असते असे दिसून येते तसेच, इतर पृष्ठाच्या विकिरण शक्तीची अर्हा १ पेक्षा न्यून असते. विकिरण शक्तीसबधी पृष्ठाचा पुढील उतरता क्रम लावता येतो (१) पूर्ण कृष्ण, (२) न्यव कृष्ण (dull black), (३) शुभ्र आणि (४) चकचकीत पृष्ठ

प्रचूषण शक्ति (absorptive power)

सपरीक्ष्य पृष्ठतलावर प्रति काष्ठितेन आपाति (incident) होणारी ऊष्माराशि रा असून त्या पृष्ठात प्रचूषित होणारी ऊष्माराशि रा' असल्यास, $\frac{रा'}{रा}$ या निष्पत्तीस त्या पृष्ठाची 'प्रचूषण शक्ति'

म्हणतात. या प्रचूपण दाबनीचे मापन करणे कठीण असते. तथापि पुढील रीतीने दोन भिन्न पृष्ठांच्या प्रचूपण दावतींची तुलना करता येते. एका हृष तापमानाच्या बदाला काजळ लावून हें तापमान आ १६-७ मध्यें दर्शविल्याप्रमाणे एका लाकडी पेटीत ठेवतात. पेटीच्या एका पार्श्वाला स्फटिकाचा (quartz) उदुब्ज वीक्ष बसविला असून या वीक्षासमोर दीप्तोष्ण धातुगोल अथवा ज्योत ठेवतात. वीक्षासमोर ठेवलेल्या ऊष्मा प्रभवापासून (source of heat) विकिरित होणारा ऊष्मा वीक्षाच्या साहाय्याने तापमानाच्या कन्दावर नाभिमित (focussed) करता येतो या ऊष्म्याच्या प्रचूपणाने तापमानाचा ताप वाढून काही वेळाने तापवाचन स्थिर होते. समजा हें स्थिर तापवाचन त° हा आहे नंतर धातुगोल अथवा ज्योत एकीकडे सारून या तापमानाचे



आ. १६-७

वाचन न्यून होत असता, तापवाचन आणि काल यांची वाचनें टिपून घेतात. कल्पना करूं की, क काळिकांत तापमानाचें वाचन ट° श. ने उतरल्यास, $\left(\frac{ट}{क}\right)$ हा त° श. स्थिरताप असताना तापमानाचा शीतनार्घ (rate of cooling) आहे हें लक्षात येईल. तापमानाचा त° श. वरील शीतनार्घ आणि त्याची तापीय धारिता अनुक्रमे श आणि ध ने दर्शविल्यास, तापमानातून प्रतिकाळिकेत विसर्जित होणारी ऊष्माराशि (श × ध) इतकी असते. काजळ लावलेल्या भागाची प्रचूषण शक्ति चू ने दर्शविल्यास,

$$चू = \frac{\text{तापमानाच्या कंदाने प्रतिकाळिकेत प्रचूषिलेला ऊष्मा}}{\text{कंदावर प्रतिकाळिकेत आलेला आपाति ऊष्मा}} = \frac{रा'}{रा}$$

$$\therefore \quad रा' = चू\ रा$$

तापमानाच्या कंदावर ऊष्मा आपाति होत असता तापमानाचा त° श. ताप स्थिर असल्यास, प्रतिकाळिकेत

तापमानानें प्रचूषण केलेला ऊष्मा = शीतनात तापमानाने बाहेर [टाकलेला ऊष्मा.

$$\therefore \quad रा' = चू \times रा = ध \times श$$

तापमानाच्या कन्दावर दुसऱ्या एखाद्या रंगाचा अथवा वस्तु-द्रव्याचा पातळ थर देऊन दीप्तोष्ण धातुगोलाचा ऊष्मा त्यावर नाभिमित केल्यास,

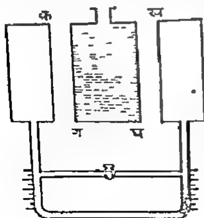
$$चू_1 \times रा = ध \times श_1$$

$$\therefore \frac{चू_1}{चू} = \frac{श_1}{श}$$

वरील समीकारात, $च_२$ ने दुसऱ्या पृष्ठाची प्रचूषण शक्ति दर्शविली असून तापमानाचे स्थिर तापवाचन $त_१$ असताना या तापावरील तापमानाचा शीतनार्घ $श_१$ आहे

प्रचूषण शक्ति निश्चयनाच्या अभ्यासात असे दिसून आले आहे की, पृष्ठाची विकिरण शक्ति ज्या प्रमाणात जास्त अथवा अल्प असते त्याच प्रमाणात त्या पृष्ठाची सापेक्ष प्रचूषण शक्तीहि जास्त अथवा अल्प असते विकिरण शक्ति आणि प्रचूषण शक्ति यांच्या वर सांगितलेल्या परिभाषा योजल्यास, कोणत्याहि पृष्ठाची विकिरण शक्ति ही त्या पृष्ठाच्या प्रचूषण शक्ति इतकी असते हे पुढील सपरीक्षेने दाखविता येते

क आणि ख ही रम्भाकार चापट धातुपात्रें काचेच्या उर्ध्ववाहू नळीने जोडलेली असून ऊर्ध्ववाहूत थोडें रंगीत पाणी असते आकृति १६–८ पाहा क आणि ख या दोहोमध्ये गघ हे रम्भाकार धातु–पात्र असते. क आणि घ हे पृष्ठ काजळाने काळे केलेले असून, ख आणि ग ह्या पृष्ठास परीक्ष्य वस्तु द्रव्याचा पातळ थर दिलेला असतो. समताप स्थितीत ऊर्ध्ववाहूतील पाण्याच्या स्तम्भाची उंची समान असते. यानंतर, गघ मध्ये उकळतें पाणी टाकतात ग पृष्ठा-वरून विकिरित होणारा उष्मा क पृष्ठावर आपाति होतो तसेच, घ पृष्ठावरून



आ १६–८

विकिरित होणारा ऊष्मा. ख पृष्ठावर आपाति होतो. घ आणि ग पृष्ठावरून प्रति काळिकेत विकिरित होणारी ऊष्मा–राशि अनुक्रमे उ आणि $उ_{१}$ असल्यास,

$$\frac{उ_{१}}{उ} = \text{परीक्ष्य पृष्ठाची विकिरण शक्ति} = \text{वि.}$$

घ पृष्ठापासून ख पृष्ठावर आपाति होणारी ऊष्माराशि उ असून ख परीक्ष्य पृष्ठाची प्रचूषण शक्ति $चू_{१}$ असल्यास, ख पृष्ठात प्रति काळिकेत प्रचूषित झालेला ऊष्मा = $चू_{१} \times उ$ तसेच, चू ही काजळाची प्रचूषणशक्ति असून ग पृष्ठावरून प्रतिकाळिकन विकिरित होणाऱ्या $उ_{१}$ ऊष्म्यापैकी ($चू. उ_{१}$) इतका ऊष्मा काजळ लावलेल्या क पृष्ठात प्रचूषिला जाईल. सपरीक्षेत गघ पात्रात ऊन पाणी टाकले असता ऊर्ध्ववाहूतील पाण्याच्या स्तम्भाची उंची समान असल्याचे आढळून येते म्हणून,

क ने प्रचूषिलेला ऊष्मा = ख ने प्रचूषिलेला ऊष्मा

$$चू \times उ_{१} = चू_{१} \times उ$$

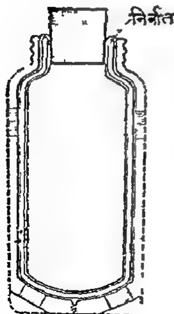
$$\therefore \quad \frac{चू_{१}}{चू} = \frac{उ_{१}}{उ}$$

$\frac{चू_{१}}{चू}$ आणि $\frac{उ_{१}}{उ}$ या निष्पत्ती परीक्ष्य पृष्ठाची अनुक्रमे सापेक्ष प्रचूषण शक्ति आणि सापेक्ष विकिरण शक्ति दर्शवितात काजळाची प्रचूषण शक्ति सर्वांत जास्त म्हणजे चू = १ आहे असे मानल्यास, परीक्ष्य पृष्ठाची प्रचूषण शक्ति,

$$चू_{१} = \frac{उ_{१}}{उ} = \text{विकिरण शक्ति}$$

वरील सपरीक्षेत थोडे वैगुण्य आहे. ख परीक्ष्य पृष्ठाचा नीच्चताप असताना त्या पृष्ठाची प्रचूषण शक्ति आणि त्याच द्रव्याच्या ग या परीक्ष्य पृष्ठाची उच्च ताप स्थितींतील विकिरण शक्ति या दोहोंची या सपरीक्षेत तुलना केली आहे. वास्तविक, ख आणि ग यांची ही तुलना त्यांची समतापस्थिति असताना करावयास पाहिजे.

स्थिर तापी (thermos bottle)



आ १६-१

चकचकीत अथवा शुभ्र पृष्ठ असलेल्या वस्तूची विकिरण शक्ति अल्प असते, आणि चकचकीत पृष्ठावरुन आपाति उष्म्यापैकी बराच ऊष्मा परावर्तित होतो. या घटनाचा उपयोग स्थिर ताप-कूपींत केला आहे. स्थिरताप कूपी (स्थिरतापी = *thermos bottle*) काचेची असल्यामुळे या कूपींत ठेवलेल्या उष्ण वस्तूचा ऊष्मा दुर्वाहित काचेतून फारच अल्प प्रमाणात सभोंवारच्या वस्तूस मिळतो (आकृती १६-१ पाहा).

कूपीच्या दुहेरी काच-भिंतींतील वरिमा निर्वात केलेली असल्यामुळे यांतून उष्म्याचे व्यूहन होऊ शकत नाही. निर्वात-परिमेला लागून असलेल्या काच-भिंतीच्या आंतील

मागास चांदीचा पातळ थर (silvering) दिलेला असतो. चांदीच्या या चकचकीत पृष्ठांवरून कूपीतील वस्तूपासून निघणारा विकिरित ऊष्मा परावर्तनाने कूपीतील मागासच मिळून ह्या ऊष्म्यापैकी फारच अल्प आणि उपेक्षणीय ऊष्मा कूपीच्या बाहेर पडतो. तसेच कूपीबाहेरील ऊष्मा चकचकीत पृष्ठावरून परावर्तित झाल्याने कूपीत ठेवलेल्या वस्तूपर्यंत जाऊं शकत नाही. या कूपीत हिमखण्ड, शीतपेय इत्यादि ठेवल्यास बाहेरून अत्यल्प ऊष्मा मिळत असल्याने या वस्तू बराच काळ शीत स्थितीत राहूं शकतात. तसेच कूपीत चहा, कॉफी, ऊन पाणी इत्यादि ठेवल्यास, या वस्तूची ऊष्माहानि अत्यल्प होत असल्यामुळें त्या बराच काळ उष्ण स्थितीत राहू शकतात

पांढऱ्या चकचकीत पृष्ठावरून विकिरणद्वारा बाहेर पडणारी ऊष्माराशि अल्प असते म्हणून चहादाणी सारख्या भांड्याचा बाह्य पृष्ठ काळसर असण्यापेक्षा पांढरा चकचकीत असावा. काळ्या पृष्ठावरून विकिरण बरेच होत असल्याने कृष्णवर्ण पृष्ठ असलेल्या वस्तूचे शीतन लवकर होते या कारणामुळे विकिरणाने होणाऱ्या शीतनाच्या अभ्यासात उपयोगास येणाऱ्या उपमानाचा बाह्य पृष्ठ बहुधा काळा केलेला आढळतो पांढऱ्या पृष्ठाची प्रचूषण शक्ति अल्प असल्याने, पांढऱ्या कपड्यातून सूर्यकिरणातील ऊष्म्याचे प्रचूषण अल्प होते, म्हणून उन्हाळ्यात पांढरे कपडे वापरणें हितकर असते.

ऊष्मा विनियम सिद्धांत (theory of heat exchanges)

दीप्तोष्ण धातुगोल क या न्युब्ज परावर्तकाच्या नाभि-बिन्दूजवळ असल्यास (आकृती १६-५ पृ ४०१ पाहा) ख परावर्तकाच्या नाभिस्थानी असणाऱ्या तापचितीस धातुगोलाचा ऊष्मा मिळतो असे आपण म्हणतो क परावर्तकाच्या नाभि-स्थानी दीप्तोष्ण वस्तू न ठेवता त्या ठिकाणी हिमखण्ड ठेवल्यास, या परिस्थितीत तापचितीच्या

ध्रुवाहमानात विरुद्ध दिशेने व्याकोचन झालेले दिसते. याचे कारण हिमखण्डातून शीत रश्मींचे (*cold rays*) विकिरण होते असे पूर्वी मानण्याचा प्रघात होता. उष्मा–विकिरण (heat radiation) आणि शीत–विकिरण (cold radiation) अशी काहीशी अनिश्चित परिभाषा पूर्वीच्या काळात रूढ होती. कोणतीहि वस्तु आणि परिवारणातील (surroundings) वस्तु समूह यामध्ये विकिरित ऊष्म्याची परस्पर देवघेव होत असावी ही कल्पना प्रिव्होस्ट् या शास्त्रज्ञाने प्रथम स्पष्ट केली. न्यूव्ज परावर्तकाच्या सपरीक्षेत उष्ण धातु–गोलाचा ऊष्मा विकिरणद्वारा तापचितीला जसा मिळतो तसाच तापचितीने विकिरित केलेला ऊष्मा हि उष्ण धातु-गोलास मिळतो. उष्ण धातु-गोलाने विकिरित केलेला ऊष्मा, तापचितीपासून धातुगोलास विकिरणद्वारा मिळणाऱ्या ऊष्म्यापेक्षा जास्त असल्याने धातुगोलाचा ताप न्यून होत जातो. उलटपक्षी, तापचितीपासून उद्गिरणद्वारा होणाऱ्या ऊष्माहानीपेक्षा तापचितीला धातु गोलापासून मिळणारी ऊष्माराशि, जास्त असल्याने तापचितीला परिणामी जास्त ऊष्मा मिळून तिचा ताप वाढतो.

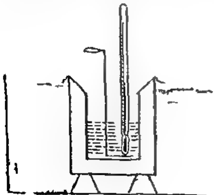
ऊष्ण धातु–गोलाच्या स्थानी हिमखड ठेवल्यास, कोष्ठताप-स्थितीतील तापचितीपासून विकिरित झालेली ऊष्माराशि, हिमखण्डा पासून तिला विकिरणद्वारा प्राप्त होणाऱ्या ऊष्माराशीपेक्षा जास्त असल्याने तापचितीच्या ऊष्माराशीत हानि होऊन तिचा ताप न्यून होऊ लागतो तसेच, हिमखण्डास जास्त ऊष्मा मिळाल्या कारणाने त्याचे द्रवण होऊ लागते. यावरून, हिमखण्डापासून शीतरश्मि निघून ते तापचितीस मिळतात असे मानण्याचे कारण उरत नाही. कोणत्याहि वस्तूचा ताप सभोवारच्या वस्तूंच्या तापाइतका स्थिर असल्यास, जितका ऊष्मा वस्तूतून विकीरणाने बाहेर पडतो तितकाच

ऊष्मा त्या वस्तूस आपाति ऊष्म्याच्या प्रचूषणाने मिळतो. अशी समताप स्थितीतील ऊष्मा विनियमाची कल्पना आहे.

दोन वस्तूंतील ऊष्मा–विकिरणाची देवघेव भिन्न तापस्थितीत होते असे नाही कोणत्याहि तापस्थितीत विकिरित ऊष्म्याची देवघेव वस्तुसमूहात चालू असते. ऊष्मा विकिरण आणि प्रचूषण या क्रियांनी परिवारणाच्या (surrounding) तापापेक्षा एखाद्या वस्तूचा ताप वाढणें अथवा न्यून होणें हे त्या वस्तूवरून विकिरित होणारा ऊष्मा आणि त्या वस्तूस प्रतिकाष्ठिकेत परिवारणापासून विकिरणद्वारा मिळणारा ऊष्मा या दोहोंवर अवलंबून आहे.

विकिरणाने होणारे शीतन (cooling by radiation)

विकिरणाने वस्तूतील ऊष्म्याची हानि होऊन वस्तूचा ताप न्यून होतो ही घटना आपल्या परिचयाची आहे. प्रतिकाष्ठिकेत न्यून होणाऱ्या तापसंख्येस शीतनार्घ (rate of cooling) ही संज्ञा आहे. शीतनार्घाचे निश्चयन पुढीलप्रमाणे करतात उष्मानात ऊष्ण तरल ठेवून, हे उष्मान मोठ्या रम्भपात्रात दोरीनें अधोलम्ब ठेवतात अथवा कुसंवाहक वस्तुद्रव्याच्या आधारावर ठेवतात हे मोठें रम्भपात्र बऱ्याच मोठ्या पात्रातील पाण्यात ठेवलेले असते (आकृति १६–१० पाहा) विचा-



आ. १६–१०

अल्प तापभेद स्थितीतील शीतनार्ध आणि तापभेद यामधील वरील संबधास 'न्यूटनचा शीतन नियम' म्हणतात उपमान आणि परिवारण यातील वरिमा निर्वात नसल्याने न्यूद्वहन क्रियेमुळेहि थोडी ऊष्माहानि होते अर्थातच अशा स्थितीत विकिरणद्वारा तसच न्युद्वहनद्वारा उपमानाचे शीतन होत असते स्थ ह्या स्थिराकाची अर्हा उपमानाच्या पृष्ठाचे स्वरूप, त्याचे क्षेत्रफळ आणि उपमानातील तरलाची तापीय धारिता यावर अवलबून आहे

उपमितीतील अनेक सपरीक्षात ऊष्ण वस्तूपासून उपमानास आणि त्यातील तरलास ऊष्मा मिळून उपमानाचा ताप वाढतो या स्थितीत उपमानातून समोवारच्या वस्तूस विकिरणाने ऊष्मा मिळून उपमानातील ऊष्म्याची हानि होते. अशी ऊष्माहानि झाली नसती तर उपमानाचे उच्च तापवाचन, प्रत्यक्ष तापवाचनापेक्षा थोडे जास्त झाले असते. विकिरणामुळे होणाऱ्या या तापहानीस 'विकिरण विभ्रम' (errors due to radiation) ही संज्ञा आहे ह्या विभ्रमाचे शोधन पुढीलप्रमाणे करतात.

विकिरण-शोधन (radiation correction)

कल्पना करू की, आपेक्षिक ऊष्म्याच्या निश्चयनात उपमानात ऊष्ण वस्तुपासून उपमानाचा उच्चताप (ता°) स्थिर होण्यास लागणारा काल क कला (minute) आहे उच्च ताप स्थिर झाल्यानंतर, विकिरण इत्यादींनी होणाऱ्या ऊष्माहानीमुळ उपमानाचा ताप न्यून होऊ लागेल या स्थितीत, क' कलात उपमानाचा ताप त' अशांनी उतरल्यास, $\frac{क'}{त'}$ हा उपमानाचा ता° तापस्थितीतील शीतनार्ध आहे उपमितीच्या सपरीक्षातील उपमानाचा ता° स्थिर ताप आणि समोवारच्या वस्तुचा ताप यातील तापभेद बहुधा अल्प

असतो. म्हणून न्यूटनच्या शीतन नियमाचा उपयोग करून पुढील-प्रमाणे उपमानांच्या तापहानीचें गणन करतात. संपरीक्षेच्या प्रारंभी उपमानाच्या ताप आणि परिवारणाचा ताप समान असल्याने, प्रारंभीचा शीतनार्थ शून्य असतो.

$$\therefore \quad \frac{\text{प्रारंभीचा शीतनार्थ} + \text{अंतिम शीतनार्थ}}{२} = \text{माध्य शीतनार्थ}$$

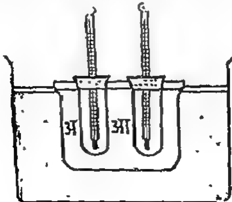
$$\therefore \quad \text{माध्य शीतनार्थ} = \frac{० + \frac{त'}{क'}}{२} = \frac{१}{२} \cdot \frac{त'}{क'}$$

या माध्य शीतनार्थाने म कालात होणारी तापहानि $\left(\frac{१}{२} \cdot \frac{त'}{क'} \times म \right)^{\circ}$ इतकी होईल. म्हणून विकिरणाने उपमानातील उष्माहानि भरून काढली असती तर उपमानाचे उच्चतम तापमान $\left(ता + \frac{१}{२} \cdot \frac{त'}{क'} \times म \right)^{\circ}$ इतके झाले असते. किमान शीतनार्थ

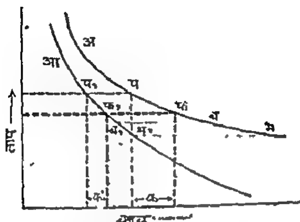
असल्यास प्रत्येक पृष्ठावरून प्रतिकाष्ठिकेत विकिरित होणारी, ऊष्माराशि समान असते.

आपेक्षिक ऊष्म्याचें गणन करण्याची शीतन रीती
(specific heat by method of cooling)

वरील प्रचितीच्या साहाय्याने पुढील प्रमाणे तरलाच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचें गणन करता येते. अ आणि आ या दोन समान आकाराच्या उपमानांचा बाहेरील पृष्ठ सारखाच कृष्णवर्ण केलेला असून, आकृति १६–१२ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे ही उपमाने आंतून काळ्या केलेल्या एका मोठ्या पात्राच्या झाकणात बसविली असतात. हें मोठें पात्र कोष्ठतापावरील पाण्यात आकृतीत दर्शविल्याप्रमाणे बसविलेले असते. दोन काचनळ्यात पाणी आणि त्याच्या समान परिमेचे तरल घेऊन त्या नळ्या स्थिर तापनात तापवितात. नतर हें उष्ण पाणी आणि उष्ण तरल अनुक्रमे अ आणि आ या उपमानात टाकतात. यानंतर पाणी आणि तरल याचो तापवाचनें योग्य



आ. १६–१२



आ. १६–१३

कालावधीत घेतात अ चे तापमापन आणि काल, तसेच आ चे तापमापन आणि काल यांचे दोन बिंदुरेख आकृति १६–१३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे वाढतात. बिंदुरेखांवरील प आणि $प_1$ या बिंदूंनी दर्शविलेल्या स्थितीत दोन्ही उपमानांचा समताप असतो. तसेच फ आणि $प_2$ या स्थितीत दोन्ही उपमानांचा ताप समान आहे यामुळे, प आणि प' या कालखण्डात अनुक्रमे अ आणि आ या उपमानांचा $\frac{(त_1 + त_2)}{2}$ हा माध्यताप समान असतो पाणी आणि तरल यांच्या परिमा समान असल्याने त्यांच्या सारख्या असणाऱ्या (गारव्या आकाराच्या) उपमानांच्या पृष्ठांचे क्षेत्रफळ समान असते या समान क्षेत्रफळ असलेल्या समरूप पृष्ठांवरून माध्य ताप $\left(\frac{त_2 + त_3}{2}, \ldots \text{इत्यादि} \right)$ समान असताना प्रारंभिक विकिरित होणारी उष्णताराशि समान असते. म्हणून

$$\frac{(पु + ज)(त_{१} - त_{२})}{क} = \frac{(पु'.ऊ + ज')(त_{१} - त_{२})}{क'}$$

वरील समीकारात उपमानातील पाण्याचा आणि तरलाचा पुंज अनुक्रमें पु आणि पु' ने दर्शविला असून उपमानाचे जलसमाहं अनुकमे ज आणि ज' ने दर्शविले आहेत. $\left(\frac{त_{१} - त_{२}}{क}\right)$ आणि $\left(\frac{त_{१} - त_{२}}{क'}\right)$ हे या उपमानाचे समान तापस्थितीतील शीतनार्ध आहेत वरील समीकार पुढील प्रमाणे लिहून

$$\frac{(पु + ज)}{क} = \frac{(पु'\,ऊ + ज')}{क'}$$

या साहाय्याने तरलाच्या ऊ या आपेक्षिक उष्म्याचे गणन करता येते. म, व$_{१}$ आणि भ, भ$_{१}$ ह्या बिन्दूवरील तापवाचन आणि शीतनार्ध याच्या साहाय्याने वरील सारखाच समीकार लिहून ऊ चे गणन दुसऱ्या वाचनाच्या साहाय्याने करता येते. शीतन नियम कोणत्याहि ईयत्तात्मक स्वरूपाचा (quantitative form) असला तरी त्या नियमावर वरील सपरीक्षेतील ऊ चे गणन अवलंबून नसते हे लक्षात ठेवणें आवश्यक आहे या सपरीक्षेत तरलाचा आणि उपमानाचा ताप विचालकाच्या साहाय्याने समान ठेवता येतो. सान्द्राच्या बाहेरील पृष्ठाचा ताप आणि आंतील भागाच्या ताप समान ठेवणें अशक्य असल्याने वरील रीतीनें सान्द्राच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे गणन करणें शक्य नसते.

स्टीफन्‌चा विकिरण नियम
(Stefan's law of radiation)

डयूलांग आणि पेटि यानी केलेल्या शीतनासबंधीच्या कार्टी

प्रयोगाच्या अभ्यासावरून स्टीफन् या शास्त्रज्ञाने पृष्ठतलाचा ताप आणि त्यापासून विकिरित होणारी ऊष्माराशि यांचा पुढील संबंध दर्शविला. ' प्रतिकाष्ठिकेन पृष्ठावरून विकिरित होणारी ऊष्माराशि ही पृष्ठाच्या प्रकेवल तापाच्या चतुर्थ घाताशी अनुपाति असते.' स्टीफन्चा हा विकिरण नियम पुढील सूत्राद्वारे दर्शविण्याचा प्रघात आहे.

$$रा = स \times ता^{४}$$

वरील समीकारात पृष्ठाचा प्रकेवल ताप ता असताना त्यावरून प्रतिकाष्ठिकेत विकिरित झालेली ऊष्माराशि रा असून स हा स्थिरांक आहे कृष्णवर्ण पृष्ठावरील विकिरणाच्या अभ्यासाने स्टीफन्च्या वरील नियमाची प्रचीति घेतलेली आहे. ताप प्रवंगिकीच्या प्रनियमाच्या साहाय्याने स्टीफन्चा वरील नियम सिद्ध करता येतो.

स्टीफन्च्या नियम आणि प्रिव्होस्ट्च्या ऊष्मा विनिमय सिद्धांत यांच्या साहाय्याने न्यूटन्च्या शीतन नियमाचे स्पष्टीकरण करता येते कल्पना करू की, वस्तूचा आणि परिवारणाचा ताप स्थिर आहे. स्टीफन्चा नियमान्वये या स्थितीत पृष्ठावरून विकिरित होणारी ऊष्माराशि (स. ता^{४}) आहे. ऊष्मा–विनिमयाच्या सिद्धांताप्रमाणे जेव्हा वस्तूचा प्रकेवलताप ता परिवारणाच्या तापासमान असतो तेव्हा वस्तूंत विकिरणाने होणारी ऊष्माहानि परिवारणापासून वस्तूस मिळणाऱ्या ऊष्माराशीसमान असते.

प्रिव्होस्ट्च्या ऊष्मा विनिमय सिद्धांताप्रमाणे,

समताप स्थितीत परिवारणापासून विकिरित झालेल्या ऊष्म्यापैकी वस्तूने शोषलेला ऊष्मा = वस्तूवरून विकिरणाने होणारी ऊष्माहानि
= स. ता^{४} [स्टीफन्च्या नियमाप्रमाणे.

आता, समावरणाचा प्रकेवल ताप ता असून वस्तूचा ताप त° श ने जास्त असल्यास, वस्तूचा प्रकेवल ताप $ता_१ = (ता + त)$ होईल या स्थितीत परिवारणापासून वस्तूस मिळणाऱ्या ऊष्माराशीत परिवर्तन न होता तिची अर्हा वरील समीकारात दर्शविल्याप्रमाणे ($स\ ता^४$) इतकीच असते परंतु वस्तूचा ताप वाढल्याने तिच्या पृष्ठावरून प्रतिकाष्ठिकेत विकिरित होणारा ऊष्मा ($स \times ता_१^४$) इतका होईल यामुळे वस्तूतून प्रतिकाष्ठिकेत होणारी परिणामी ऊष्माहानि $= स\ ता_१^४ - स\ ता^४ = स\ (ता_१^४ - ता^४)$

शीतनार्घ ऊष्माहानीशी अनुपाति असल्याने,

$$शीतनार्घ \propto स\ (ता_१^४ - ता^४)$$

परंतु, $ता_१ = (ता + त)$
यात त हा वस्तू आणि परिवारण या दोहोतील तापभेद आहे

$$शीतनार्घ \propto स\ [\ (ता + त)^४ - ता^४\ ]$$

$$शीतनार्घ \propto स \left\{ ता^४ \left(१ + \frac{त}{ता} \right)^४ - ता^४ \right\}$$

त ची अर्हा अल्प असल्यास म्हणजेच तापभेद अल्प असल्यास $\frac{त}{ता}$ या अल्प सख्येचे वर्ग, घन इत्यादि उच्च घात उपेक्षणीय मानून द्विपद प्रमेयाच्या साहाय्याने वरील सवच पुढील प्रमाणे दर्शविता येतो

$$शीतनार्घ \propto स \left\{ ता^४ \left(१ + ४\frac{त}{ता} + \quad \right) - ता^४ \right\}$$

शीतनार्घ ∝ ४ म. ता^{3}. त

समोवारच्या वस्तूचा प्रकेवल ताप ता स्थिर असल्याने वस्तूचा शीतनार्घ ∝ त

शीतनार्घ ∝ वस्तूचा ताप आणि समोवारच्या वस्तूचा ताप [यातील तापभेद

त ह्या तापभेदाची सम्यात्मक अर्हा शतिक श्रेणीतील आहे तापश्रेणी परिवर्तनाने दुसऱ्या तापश्रेणीतील तापउत्येने हा तापभेद दर्शविता येतो.

प्रश्न

(१) स्थिर–ताप कुपीतील वस्तूचा ताप स्थिर कां असतो हें सविस्तर सांगा.

(२) स्टीफनच्या विकिरण नियमाच्या साहाय्यानं न्यूटनचा शीतन नियम सिद्ध करा

(३) न्यूटनच्या शीतन नियमाच्या साहाय्याने उपमानातील विकिरणाने होणाऱ्या तापहानीच शोधन कसे करतात हें स्पष्ट करा

(४) विकिरण शक्ति आणि प्रचूषण शक्ति याच्या व्याख्या द्या आणि यांचे मापन कस करतात ते सविस्तर सांगा

(५) तरलाच्या आपेक्षिक उष्मा–गणनाच्या शीतन–रीतीत कोणती अनुमानें सत्य मानली आहेत तें स्पष्ट करा

(६) उष्मा प्रचूषणाच्या सपरीक्षेत तापमानाच्या वन्दास

एका वस्तू-द्रव्याचा थर देऊन त्या कन्दावर सूर्याचे किरण नाभियित केल्यास, तापमानाचा ताप ४५° श. वर स्थिर होतो सूर्यकिरणांतून तापमान एकीकडे ठेवल्यास, या तापस्थितीत तापमानाचा ताप प्रति कलेत ०.५° श ने उतरतो. त्याच तापमानाच्या कन्दावर पहिल्या वस्तु-द्रव्याचा थर काढून दुसऱ्या वस्तु-द्रव्याचा थर दिला आहे. पूर्वीप्रमाणेच कन्दावर सूर्यकिरण नाभियित केल्यास, तापमानाचा ताप ५०° श वर स्थिर होतो या तापस्थितीत तापमानाचा शीतनार्घ ० ६°श. असल्याचे आढळून येते. यावरून, या दोन वस्तूंच्या सापेक्ष प्रचूषण शक्तीचे गणन करा

★ ★ ★ ★

भारतीय-आंग्ल शब्दावलि

अंशत शून्यित partially evacuated (vacuum शून्यक)

अक्षदण्ड axle

अक्षांश latitude

अग्निमान pyrometer

अग्निशमित्र fire engine (शमित्र from √शम + -त्र a suffix indicating an instrument, apparatus or machine)

अंकशोधन calibration (calibration act of checking the accuracy शोधन of a set of graduations अंक)

अंकित graduated

अचल निमज्जन तरलमान Nicholson s hydrometer (constant अचल immersion निमज्जन hydrometer तरलमान)

अचलातु invar (invar 'from invariable', its coefficient of linear expansion is approximately, 0 000001 per degree centigrade अचलातु-अचल invariable, + -आतु for धातु metal or alloy)

अणुमान भ्रमि micrometer screw (micrometer = micro-अणु- + -मान -meter)

अणु-मान भ्रम्यामान micro meter screw-guage

अण्वीक्ष (micro- अणु + -scope -ईक्ष)

अतुलित unbalanced

अदिश राशि scalar quantity (an undirected अदिश quantity राशि)

अधितापन superheating
अधिशीतन supercooling
अधोवाहु नली (M), अधोवाहु-नाल Hare's apparatus
अननुविद्ध unsaturated
अनल काच Jena glass
अनीर वापीडमान aneroid barometer (aneroid=*a* not + *neros* wet + -oid, containing no liquid, अनीर = अ - without नीर water)
अनुगामी consecutive
अनुन्यास configuration
अनुप्रस्थ तन्तु cross wire
अनुरेख विस्तरण linear expansion (अनुरेख along the line)
अनुरेख विस्तार गुणक coefficient of linear expansion
अनुविद्ध saturated
अनुवेधन saturation (अनु- + वेधन penetration To saturate is to cause to become completely penetrated)
अनुश्रेणी vernier = vernier scale
अनुश्रेणी व्यासमि vernier calipers (व्यास diameter + -मि from √ मा to measure Calipers are used for determining the thickness or diameter of objects)
अनुश्रेणी स्थिरांक vernier constant
अंतरत internally
अन्तराल pitch (of a screw)
अन्तराल interval
अन्तराण्वीय बल inter-molecular force
अन्तिम प्रवेग final velocity
अन्वायाम विकार linear strain = longitudinal strain (अन्वायाम = अनु- along + आयाम length)
अन्वेषण research
अपरावर्तित रूप allotropic form (allotropy अपरावर्तना is from Greek *allos* other अपर + *tropos* direction from *trepein* to turn आवर्तन)

अपवर्त्य multiple
अभय दीप safety lamp
अभिघटिति plasticity
अभिघट्य plastic
अभिनत समतल inclined plane
अभिलागी adhesive
अभ्याकृष्टि-स्थिरांक gravitational constant
अभ्याकृष्टीय बल gravitational force (gravitation अभ्याकृष्टि, अभि + आकृष्टि) cf gravity (terrestrial gravitation) भ्वाकृष्टि (भू earth + आकृष्टि attraction)
अम्ल acid
अयस् iron (The word iron is derived from Sanskrit अयस्)
अयोझर्झर निदोल grid-iron pendulum
अयोवत्म iron-rail
अर spoke (cf आरा in Marathi and अरा in Hindi)
अरित्र-चक्र steering wheel (अरित्र propelling, driving, is a Vedic word)
अरीय radial (fr radius अर)
अर्घ rate
अर्धातिवेध्य semipermeable
अर्धातिवेध्य कला semipermeable membrane (अर्ध— semi— + अतिवेध्य permeable)
अल्पकालीन ऋण शून्य — विभ्रम temporary fall of zero
अल्प निपीडमान Mcleod gauge (it is a low अल्प pressure निपीड gauge मापन)
अल्पिष्ठ माप least count
अवचस्थिर बिन्दु lower fixed point
अवश्याय dew (ancient word of Hindi ओस)
अवश्यायाङ्क dew point
अवस्थापरिवर्तन change of state
अविनाश्य indestructible
अविलेय insoluble

अशीतिक श्रेणी Reaumur scale (thermometer scale 0° R–80° R, अशीति is eighty)

अशुद्धि impurity

अश्वशक्ति horse power

असवाही nonconducting

असृज्य uncreatable

अस्थिर-स्थिति unstable state

आंशिक आस्रवन partial distillation

आंशिक निपीड नियम law of partial pressures

आकृषि pulley

आघात stroke

आतन्य tensile (from आ- + √तन to stretch)

आत्मनिष्ठ (Marathi) subjective

आत्मवह, आत्मवाहक automobile

आदर्श वाति perfect gas ideal gas

आद्य initial (आद्य is an from आदि first)

आद्य प्रवेग initial velocity

आनुक्रमिक successive

आनुपातिक proportional (from अनुपात proportion)

आन्तर गुप्त ऊष्मा internal latent heat

आन्तर बल internal force

आपात incidence (incidence = the falling of a projectile ray of light etc on a surface आपात from आ- + पात meaning falling, is an ancient word)

आपाती incident (from आपात)

आपेक्षिक ऊष्मा specific heat

आपेक्षिक-घनत्व कूपी specific gravity bottle

आपेक्षिक भार specific gravity

अभियान्त्रिकी engineering (as a science)

आम्भसपीड hydraulic press Bramah press

आयाम length (आयाम ancient word)

आरोध brake (आ – + रोध check)

आर्द्र moist

आर्द्र आणि शुष्कवन्द तापमान, आर्द्र और शुष्कवन्द तापमान wet and dry bulb thermometer

आलग viscous (आ – + √लग् to adhere)

आलगत्व viscosity

आवर्तकाल periodic time

आवृत screened

आवेपन vibration

आवेपन ऊर्जेची मध्यक अर्हा, आवेपन ऊर्जा की मध्यक अर्हा mean value of the energy of vibration

आसवन distillation (from आ + √सु to distil. Cf. आसोना a Vedic word)

आसृति osmosis (from आ – all through सृति flow)

आसृति–निपीड osmotic pressure

इन्धन fuel

इयत्तात्मक quantitative (इयत्ता is a feminine abstract noun from इयत् 'so large', 'so much'. इयत्ता meaning 'quantity' is an ancient word. – आत्मक is an adjectival suffix).

इष्टका block

ईक्षक observer

उच्च स्थिर बिन्दु upper fixed point

निर्माणशाला, निर्माणी factory

उत्प्लाविता buoyancy (from उत् up + √प्लु to swim, float; buoyancy is the property of floating on the surface of a liquid)

उत्प्लाविता-नियम principle of buoyancy, principle of Archimedes

उत्सेध–मान cathetometer [उत्सेध height (ancient word) + मान meter]

उन्मार्जक exhaust pump

उत्स्फोट explosion, explosive

उदग्र vertical (उत् upward + अग्र end)

उदग्र श्रेणी vertical scale

उदग्रोन्मुख vertically upwards

उदजन hydrogen (Greek *hydro* = Sanskrit उद water + *gen* = Sanskrit –जन generating)

उदच pump (उदच that raises or lifts up, from उद् up + √अच् to raise)

उदुब्ज convex (उद् + उब्ज bent up, cf. न्युब्ज concave, from नि + उब्ज bent down)

उदुब्ज वीक्ष convex lens

उद्गिरण emission

उद्गिरण–शक्ति emissive power

उद्वाष्पन evaporation (to pass off उद् as vapour वाष्प)

उद्याम lever (उद् + √यम् to raise up)

उद्योग–स्थान places of industry

उद्वाहन lifting, lift (उद्वाहन is an ancient word)

उद्वाही उदच lift pump

ऊनेंद्रज ellipsoid [ऊनेंद्रज = ऊनेंद्र ellipse (एकोन less than one + उत्केन्द्रता eccentricity) + –ज generated by]

उन्दमान hygrometer (उन्द moisture + मान meter. Hygrometer is from Greek *hygros* wet, moist + meter. It is an instrument for measuring the degree of moisture of the atmosphere)

उन्दमिति hygrometry

उपकरण instrument (उपकरण is an ancient word)

उपकल्पना hypothesis (from उपक्लृप् to assume, suppose, ancient word)

उपमात्र comparator (from उपमा to compare + –त्र a suffix indicative of an apparatus or instrument)

उपस्नेहन lubrication (उपस्नेह is an ancient word)

उपस्नेहन-द्रव्य lubricant

उष calori, calorie (from √उष् to burn, to heat. From this root are derived the common words उषस् dawn, उष्ण hot. Calory is from Latin *calor* heat)

उष-द्रव caloric fluid

उषमान calorimeter

उषमिति calorimetry

उष्ण जल-तापन hot water bath

ऊर्जा energy (ऊर्जा is a Vedic word, from √ऊर्ज to strengthen)

ऊर्जेचा यांत्रिक समाई, ऊर्जा का यांत्रिक समाई mechanical equivalent of heat

ऊर्जा-स्थिरता conservation of energy

ऊर्ध्वबाहु नळी, ऊर्ध्वबाहु नाल U-tube (ऊर्ध्वबाहु having arms upwards)

ऊर्ध्वबाहु नळीची रीत, ऊर्ध्वबाहु-नाल रीति U-tube method

ऊर्ध्व शून्यक Torricellian vacuum (ऊर्ध्व upward, शून्यक vacuum. Torricellian vacuum is produced at the upper end of the Torricellian tube)

ऊष्मा (ऊष्मन्) heat

ऊष्म्याचा प्रभव, ऊष्मा का प्रभव source of heat (प्रभव source, ancient word)

ऊष्म्याचा विनिमय सिद्धांत, ऊष्मा का विनिमय सिद्धांत theory of heat exchanges (Sanskrit form in compounds would be ऊष्म-विनिमय-सिद्धांत)

ऊष्म्याचे संवाहन, ऊष्मा का संवाहन conduction of heat

ऊष्म्याची संवाहिता, ऊष्मा की संवाहिता thermal conductivity

ऊष्मोर्जा heat energy

ऋजुताप निपीड normal temperature and pressure
ऋजु बुदबुदाक normal boiling point
ऋजुरेखीय rectilinear
ऋजु वायुमडलीय निपीड normal atmospheric pressure
ऋण negative (ऋण ancient word)
ऋ ता नि N. T. P (normal temperature and pressure)
एकक unit
एकपरमाण्विक monatomic
एकपरमाण्विक वाति monatomic gas
एकरूप प्रवेग uniform velocity
एकान्तरतया alternately
ओज watt
कन्द bulb
कपाट valve
कतरी कात्री (Marathi) scissors
कर्म work
कर्म तथा शक्ति work and power

कला minute (ancient word)
कला membrane (कला ancient word)
कवक fungus
कार्य निष्पत्ति efficiency (of a machine) (efficiency is the ratio निष्पत्ति of useful work कार्य done by a machine to the energy supplied)
काल time
कालान्तराल interval of time
काष्ठा ताप critical temperature (काष्ठा limit, cf. पराकाष्ठा highest limit)
काष्ठा निपीड critical pressure
काष्ठा परिमा critical volume
काष्ठिका second (काष्ठा is a measure of time, $\frac{1}{30}$ of a कला, कला being a minute काष्ठा will be more than a second काष्ठिका thus is a second, the suffix –इका being added in the sense of diminution)
कुण्ठ फिरकी, बोथट फिरकी (Marathi) blunt borer

कुन्तल spiral
कुन्तल स्कन्द hair spring
कुप्यातु zinc
कुसवाहक bad conductor
कुसवाही low conducting
कूपर crank (a bent portion of an axle, an arm, an elbow-shaped brace, etc कूर्पर elbow)
कूर्पर हस्तक crank handle
केन्द्र भ्रमि centre screw
केशाल capillary tube (केशाल = केश + नाल)
केशालत्व capillarity
कोटिश्रम् (joule 10^7 कोटि ergs श्रम्)
क्रोशक mile (क्रोश is greater than a mile, –क is a diminutive suffix)
क्षारतुल्वित photographer's hypo Hypo (sodium hyposulphite) क्षारतुल्वित (contracted from क्षारातु sodium उपगुल्वित hyposulphite)
क्षारातुनीरेय sodium chloride
क्षिप jet
क्षुरी–धारा knife edge
क्षेत्रफल area
क्षैतिज horizontal
खनि mine (खान in Hindi and खाण in Marathi)
अभय दीप safety lamp
गति motion
गतिक ऊर्जा, गति–ऊर्जा kinetic energy
गतिक सिद्धांत, गति–सिद्धांत kinetic theory
गत्र engine (√ गम् to go + –त्र, –त्र indicates an instrument or machine
गभीरता depth
गमता momentum (गमता is from गम् going *Momentum is the* property of a moving body which determines the length of time required to bring it to rest)
गमन propagation
गुप्त ऊष्मा latent heat

गोल sphere
गोलत्वमान spherometer
गोलाभीय स्थिति spheroidal state
घटक (Marathi), सघटक component
घटना phenomenon
घटीवत clockwise
घनता density
घनता कूपी density bottle
घनवातिकी meteorology (घनवातिकी = घन clouds + वात wind + -इकी a suffix indicating a science See note on भौतिकी in the Introduction)
घनवातिकी-विभाग meteorology department
घन-विस्तार-गुणक coefficient of cubical expansion
घन शतिमान cubic centimeter
घनातु iridium
घृषि rubber (from ✓ घृष् to rub)
घृषि-कन्दुक rubber ball
घृषि-त्वक्ता rubber cork
चक्र wheel
चक्र तथा अक्षदण्ड wheel and axle
चर्मस्यून leather bag
चल अवस्था variable state
चल प्रवेग variable velocity
चल भ्रमि movable screw
चलिष्णु mobile
चुम्बक magnet
चुम्बकीय magnetic
चूर्ण powder
चूर्णातु नीरेय calcium chloride
चूषित्र aspirator (aspirator is a suction चूषण apparatus. -त्र indicates an apparatus)
चूषोदच suction pump
जटिल complex
जडता inertia
जनित्र generator (जनित्र is from √जन् to generate + -त्र a suffix signifying an apparatus Latin *generate* to generate is the same as Sanskrit जन्)

जम्भ jaw
जल का वाष्प निपीड, वाष्पाचे वाष्प निपीड, vapour pressure of water
जल-पञर water trap
जल वाष्प water vapour
जल समाई water equivalent
जलाप्रवेश watertight (जला प्रवेश = जल + अप्रवेश)
जलाशय reservoir
जारक oxygen (जारक was used in ancient times for oxidizing of metals)
जीवा chord (जीवा for chord of an arc is an ancient word)
जैविकीय biological
झिल्ली film
तथ्य विज्ञान exact science
तरंगायाम wavelength
तरल liquid
तरलन liquefaction
तरलन-ताप temperature of liquefaction
तरल निशादि liquid ammonia
तरलमान hydrometer (hydrometer is an instrument for determining specific gravities of liquids तरल)
तरल-स्थैतिकी hydro statics
तरल-स्थैतिकीय रीति hydro static method
तल-आतति surface tension (आतति is from आ + √ तन् to stretch English tension is also from √ तन्)
तल विस्तार-गुणक coefficient of superficial expansion
तात्कालिक instantaneous
तात्कालिक प्रवेग instantaneous velocity
ताप temperature
ताप-क्षेत्र range of temperature
ताप-चिति thermopile (thermo- ताप- + pile चिति चिति is an ancient word)

तापन्न hot bath
ताप-प्रवणक temperature gradient
ताप-प्रवैगिकी thermodynamics
ताप-भेदमान differential thermometer
तापमान thermometer
तापमान के विभ्रमों का शोधन, तापमानाच्या विभ्रमाचे शोधन, correction for errors of a thermometer
तापमिति thermometry
ताप-मिथुन thermo-couple
तापश्रेणी scale of temperature
तापस्थाप् thermo-stat [thermo- ताप-+-stat स्थाप् -stat denotes apparatus that renders (something) stationary स्थाप from √ स्था causative rendering stationary]
तापीय धारिता thermal capacity
ताम्र copper
तिक्ताति ammonia
तुला balance
तुला-चक्र balance wheel
तैल-तापन oil bath
त्रिकोणमिति trigonometry
त्रिपाद tripod
त्रिमार्ग-शिखी threeway cock
त्वक्षा cork
त्वरण acceleration (√ त्वर to hurry)
दसु ether (दसु 'burning' is from ऋग्वेद. It is from √ दह्, ether is a highly inflammable liquid)
दसु-तापेक्ष ether thermoscope
दसुलेय ethylene
दशमिक पद्धति decimal system (decimal is from Latin *decimus* tenth दशम + -ic -इक दशमिक is already current in Bengali)

दाहक burner

दीर्घकालीन धन शून्य-विभ्रम secular rise of zero

दुग्धमान lactometer

दूरेक्ष telescope

देशना index

देष्टा pointer (from √ दिश् to point)

द्युरोध ohm (unit of electrical resistance) (द्युरोध abbreviated from विद्युत् electricity +रोध resistance)

द्युवहि ampere (unit of intensity of electric current) (द्युवहि abb from विद्युत् electricity+ वहि current)

द्युवाहमान galvanometer (an instrument for measuring a small electric current विद्युद्-वाह. द्युवाह short for विद्युद्-वाह + मान meter)

द्रवण melting

द्रवणाचा गुप्त ऊष्मा, द्रवण की गुप्त ऊष्मा latent heat of fusion

द्रवद् हिम melting ice

द्रवित सैकजा fused silica

द्रव्य matter

द्रव्याचा गति-सिद्धात, द्रव्यका गति-सिद्धात kinetic theory of matter

द्रव्य-स्थिरता नियम law of conservation of matter

द्रावाक melting point

द्रोणी trough

द्वात्रिंशादि श्रेणी Fahrenheit scale (द्वात्रिंशादि = द्वात्रिंश thirty two + आदि beginning Fahrenheit scale has its freezing point at 32^0)

द्विघातन squaring

द्विपद-प्रमेय binomial theorem

द्विभाजन bisect

धन positive (धन is an ancient word)

धातु मञ्जूषा metal box

धान्य gram (see note on Weights and Measures in the Introduction)

धान्य-व्यूहाणु gram molecule

धावल dyne (धावल is short for धान्य gram+बल force)

धारिता capacity

धावन-क्षार washing soda

धूपेन्य benzene

धूममार्ग, धुराडें (Marathi) chimney

ध्रुव-वृत्त meridian (meridian is a great circle वृत्त of the celestial sphere passing through its poles ध्रुव)

नह nut (of a screw) (नह is from √ नह to fasten or bind round)

नाभि focus

नाभि-बिन्दु focal point

नाभीयन focussing

नाभीयित focussed

निदोल pendulum

निनाल syphon (निनाल = नि down+नाल tube Syphon is a tube bent to form two branches ... by which a liquid can be transferred to a lower level)

निपीड pressure

निपीड-गुणक pressure-coefficient

निपीड-पारेष्यता transmissibility of pressure

निपीड-मोच शीतन प्रभाव Joule-Thomson effect

निपीडमान pressure guage

निमज्जक sinker

निरसन elimination

निरीक्षक, ईक्षक observer

निर्माणशाला, निर्माणी factory

निलम्बन-बिन्दु point of suspension

निलय-दन्तिका-भ्रमि rack and pinion screw

निशीर्ष inverted (निशीर्ष = नि- down + शीर्ष head, with head downwards)

निस्सारित extracted
नीच स्थिर बिन्दु lower fixed point
नीरजी chlorine
नीरजी जलीय chlorine hydrate
न्यवकृष्ण dull black
न्युद्वहन convection (न्युद्वहन = नि – down + उद् up + वहन conveyance)
न्युब्ज concave
न्युब्ज परावर्तक concave reflector
पटरी (Hindi) rail
पट्ट plate
पनचक्की (Hindi) water mill
परमाणु प्रस्फोट atomic bomb
परमाणु–भार atomic weight
परमाण्विक–ऊष्मा नियम Dulong's and Petit's law (law of atomic heats)
परावर्तक reflector
परावर्तन reflection (परावर्तन reflection is the return of light or sound waves from surfaces From परा + √वृत् to turn back, return)
परिणामी गति resultant motion
परिणामी बल resultant force
परिदृढ rigid
परिदृढता–rigidity
परिदृढता मापाक rigidity modulus
परिदृढ–प्रत्यास्थता मापाक rigidity modulus of elasticity
परिधि circumference (परिधि ancient word)
परिपथ circuit
परिभ्रमण rotation
परिभ्रमण–गति, rotational motion
परिमा volume
परिमा–गुणक volume coefficient
परिमाप perimeter
परिमा–प्रत्यास्थता–गणक coefficient of volume elasticity
परिवारण, परिवृति surrounding
परिशुद्ध accurate

पर्णशाद chlorophyll (पर्णशाद = पर्ण leaf + शाद green The chlorophyll is the green colouring matter of plants; from Greek *chloros* green + *phyllon* leaf)

पलिघ flask (ancient word)

पवनचक्की (Marathi and Hindi) wind mill

पाणचक्की (Marathi) water mill

पात्री basin

पाद foot (पाद was used as a measure in ancient India It was either 12 or 15 angulas. 15 angulas are approximately 11½")

पादक pedal

पादप्राबल foot poundal

पारद चूषोदम mercury suction pump

पारद निदोल mercury pendulum

पारद बाष्पमान mercury manometer

पार्श्व-तल lateral surface

पार्श्व-भ्रमि side screw

पिधा stopper

पिनाल दाहक Bunsen burner (It is a kind of burner consisting typically of a straight tube with small holes for entrance of air at the bottom. In पिनाल, पी stands, for अपि as in पिधान, पिहित पिनद्ध etc. It expresses uniting to, annexing. Cf. अपिमात्र having part in, share in—शतपथ ब्राह्मण, अपिकक्ष that which contains the कक्ष armpit i e the region of the armpit—ऋग्वेद. Similarly, अपिकर्ण the region of the ears ऋग्वेद, अपिशर्वर literally connected with the night, i e, being at the beginning or end of the night, early in the morning—ऋग्वद, ऐतरेयब्राह्मण-

पुंज mass

पुंज आणि भार, पुंज और भार mass and weight

पुनःश्यान regelation (regelation is the refreezing पुनःश्यान of water, श्यान freezing)

पूर्णकृष्ण perfectly black

पूर्णांक integer

पूर्णांक–अपवर्त्य integral multiple

प्रकाय–प्रत्यास्थता मापांक bulk modulus of elasticity

प्रकाश ऊर्जा light energy

प्रकेवल आर्द्रता absolute humidity

प्रकेवल तापश्रेणी absolute scale of temperature

प्रकेवल शून्य absolute zero

प्रक्षुब्ध प्रवाह turbulent flow (cf क्षुब्ध agitated)

प्रगतिकी kinematics (cf kinetics गतिकी)

प्रगतिकीय समीकार kinematic equations

प्रचक्र fly wheel (It is a heavy wheel प्रचक्र = प्र great + चक्र wheel)

प्रचूषण absorption

प्रचूषण–शक्ति absorptive power

प्रचूषित absorbed

प्रणोद impulse (प्रणोद is from प्र– + √नुद to propel, push on drive Impulse is the act of driving onward with sudden force)

प्रणोदक propeller

प्रतापमान pyrometer (It is an instrument for measuring temperatures esp those beyond the range of mercurial thermometers प्रतापमान = प्र– excessive high + ताप temperature + मान meter)

प्रतिक्रिया reaction

प्रतिघटीवत anticlockwise

प्रतिबंध condition

प्रतिरूपण representation

प्रतीप अनुपात inverse proportion
प्रतीपानुपाती inversely proportional
प्रत्यक्ष apparent
प्रत्यक्ष परिवर्तन apparent change
प्रत्यक्ष मध्यान्ह apparent noon
प्रत्यक्ष विस्तरण apparent expansion
प्रत्यक्ष विस्तार-गुणक coefficient of apparent expansion
प्रत्यावल stress (the force per unit area called into play in an elastic body subjected to stretching force प्रत्यावल short for प्रत्यास्थ elastic + बल force)
प्रत्यावल विकार-नियम Hooke's law (the law which holds practically for strains within the elastic limit, that the strain विकार is proportional to the stress प्रत्यावल producing it)
प्रत्यास्थ elastic [प्रत्यास्थ is from प्रति-back + आ √स्था to stay (प्रत्यातिष्ठति); capable of recovering size and shape after deformation]
प्रत्यास्थता elasticity
प्रत्यास्थता-मापाक Young's modulus of elasticity
प्रदोलन-गति oscillatory motion
प्रबाष्प steam (cf बाष्प vapour)
प्रबाष्प-उपमान Joly's steam calorimeter
प्रबाष्प कोठी, प्रबाष्प कोष्ठ steam jacket
प्रबाष्प-जनित्र steam generator
प्रबाष्प-पञ्जर steam trap
प्रबाष्प-भेदोपमान differential steam calorimeter
प्रबाहु fore arm (प्रबाहु ancient word)
प्रभव source (प्रभव ancient word)

प्रभाग fraction

प्रमाप standard

प्रमाप-तापमान standard thermometer

प्रमेय theorem (that which is to be established by प्रमाण or proof प्रमेय is in use in several languages)

प्रयासबल effort (In physics effort denotes a force, hence प्रयास-बल)

प्रवणित तट bevelled edge (from प्रवण slope bevelled is sloping)

प्रविलीन dissolved

प्रवृत्य selective (प्रवृत having selected)

प्रवेग velocity (cf वेग speed)

वैगिकी dynamics

प्रवैगिकीय रीति dynamical method

प्रशीतक refrigerator

प्रसारिता diffusivity

प्रसीती प्रधि grooved rim (प्रसीती having प्रसीता प्रसीता = प्र + सीता a groove प्रधि 'rim'—ancient word)

प्रसृति diffusion

प्राकृतिक विज्ञान natural science

प्रांगार चाप carbon arc

प्रांगार-द्विजारेय carbon dioxide

प्रांगार-द्विशुल्वेय carbon disulphide

प्रांगारिक organic

प्रांगारिक रसायन organic chemistry (that branch of chemistry which treats of the carbon प्रांगार compounds)

प्रांगुल inch (प्रांगुल = प्र-big + अंगुल अंगुल is an ancient measure slightly smaller than an inch Hence the prefix प्र)

प्राबलि pound (see note on Weights and Measures in the Introduction)

प्रावल poundal (प्रावल = प्राउंड pound + बल force)
प्रावेजक, त्वरक accelerator
प्रासव तल spirit-level
प्लवन-नियम law of floatation
फल, फलक vane
बल force
बलाचा विघटक, बल का विघटक resolved part of a force
बल-त्रिकोण triangle of forces
बल-पारेष्यता transmissibility of a force
बल-विघ्नमिषा moment of a force
बल समान्तर-भुज नियम law of parallelogram of forces
बलोदच force pump
बहुभुज polygon
बाष्प vapour
बाष्प-घनता vapour density
बाष्पन vapourisation
बाष्पनाचा गुप्त ऊष्मा बाष्पन की गुप्त ऊष्मा latent heat of vapourisation
बाष्प-निपीड vapour pressure
बाष्पमान manometer
बाह्य अभिकर्तृत्व external agency
बाह्य कर्म external work
बाह्यतः externally
बिंदुरेख graph (a diagram symbolizing a system of inter relations by spots बिन्दु, all distinguishable from one another and some connected by lines रेखा of the same kind)
बिन्दुरेख-पत्र graph-paper
विघ्नमिषा moment (विघ्नमिषा is a desiderative formation from भ्रम् to turn round, meaning tendency to produce motion about a point or axis)

बिम्ब disc
बुद्बुदांक boiling point
बुद्बुदायन bubbling
भट्टी furnace
भस्त्रा (cf Marathi भाता) bellows (भस्त्रा an ancient word)
भाग-चिह्न sign of division
भार, भार-बल weight (to denote that weight is a force, the word बल can also be added to भार)
भार-तापमान weight thermometer
भारु bearing (भारु that which bears, from √भृ to bear. The suffix -आरु signifies an agent. Cf कारु doer, artisan from √कृ to do)
भुजायन refraction (from √भुज् to bend The arm is called भुजा because it bends at the elbow)
भूतद्रव्य matter (भूत from √भू to exit. भूतद्रव्य is current in Hindi)
भूयाति nitrogen
भूयिष्ठ आणि अल्पिष्ठ तापमान, भूयिष्ठ और अल्पिष्ठ तापमान maximum and minimum thermometer
भूयिष्ठ बाष्पनिपीड maximum vapour pressure
भूराल (शिलारस in Marathi) lava (भू earth + राल)
भौतिकी physics (see note on भौतिकी in the Introduction)
भ्रमि screw
भ्रमि अन्तराल pitch of the screw
भ्रमि उत्थाप screw jack
भ्रमि-नह screw nut
भ्राष्ट्र (Hindi भट्ठी) furnace
भ्वाकृष्टि-केन्द्र centre of gravity
भ्वाकृष्टि-त्वरण acceleration due to gravity
मधु honey

मधुरी glycerine
मध्यक mean
मध्यक अर्हा mean value
मध्यक तापभेद mean difference in temperature
मध्यक सौर काष्ठिका mean solar second
मध्यक सौर दिन mean solar day
मध्यक स्थिति mean position
मन्थन-दण्ड churning rod
मन्द संवाहक low conductor
मन्दाति argon (from Greek *argos* meaning inert मन्द, -आति stands for वाति gas)
मसृणता (गुळगुळीतपणा in Marathi) smoothness
महत्ता magnitude
महातु platinum (from महाधातु noble metal an ancient word -आतु in महातु is for धातु)
मात्रा magnitude
माध्य average
मान metre (see note on Weights and Measures in the Introduction)
माप-कलश measuring jar
माप-पट्टी measuring scale
मापाक modulus (मापाक is clearer than modulus which literally means a small measure)
मिथुन couple
मिथुन विभ्रमिषा moment of a couple
मिश्रण-रीति method of mixtures
मिश्रातु alloy (मिश्रातु = मिश्र + धातु a mixture of metals)
मुण्ड bob
मुद्र type
मुसल piston
मूल अंतराल fundamental interval
मूल एकक fundamental units
मूल राशि fundamental quantity

मूल आयाम original length (मूळ लांबी in Marathi and मूल लंबाई in Hindi)
यन्त्र machine
यन्त्राची कार्यनिष्पत्ति, यंत्र की कार्यनिष्पत्ति efficiency of a machine (efficiency is the ratio निष्पत्ति of useful work कार्य done by a machine to the energy supplied)
यानाति helium
यांत्रिक लाभ mechanical advantage
यांत्रिक समार्ह mechanical equivalent
यांत्रिकी mechanics
योग sum
रक्षक guards
रचना composition
रजत silver
रंध्र cavity, pore
रंध्री porous
रम्भ cylinder
रश्मि ray
रसायनिक उन्दमान chemical hygrometer
रसायनिक ऊर्जा chemical energy
राशि quantity
रुग्ण-तापमान clinical thermometer
रूपक nickel
रूलोताम्र manganin (Mn लोहक 12 p. c., copper ताम्र 84 p. c., nickel रूपक 4 p. c ; रूलोताम्र = रूपक + लोहक + ताम्र)
रेखा-प्रवाह line flow
रेखीय प्रत्यास्थता मापांक Young's modulus of elasticity
रेखीय श्रेणी linear scale
रोध-तापमान resistance thermometer
रोध-परिवर्तन change in resistance
रोध-बल force of resistance
रोधविकिरणमान bolometer (an instrument for measuring minute quantities of radiant heat by changes in resistance of a blackened platinum strip exposed to radiations. रोध-विकिरण-मान = रोध resistance + विकिरण radiation + मान meter)

लव particle
लवण salt
लाक्षणिक characteristic
लिखिज graphite (fr. Greek *graphein* to write. It is used for pencils. लिखिज fr. लिख् to write+ –इज for खनिज mineral)
लोह-वलय iron ring
वग्र (Hindi पटरी) rail
वक्रता-त्रिज्या radius of curvature
वक्र नालक curved pipette
वज्रायस steel
वनस्पति-तैल vegetable oil
वरिमा space (वरिमा is an ancient word)
वर्तुल, वर्तुलाकार circular
वलय ring
वलिमान्, वलीयित corrugated (वलीयित, वलिमान् having folds or wrinkles वलि Corrugated literally means formed into folds)
वस्तुनिष्ठ (Marathi) objective
वातायन ventilator
वातावस्थापन-पद्धति air conditioning system
वाति-आशय gas reservoir
वाति-तापमान gas thermometer
वाति-नियामक gas regulator
वातीचे तरलन, वातियोंका तरलन liquefaction of gases
वातीची संपीड्यता, वातियोंकी संपीड्यता compressibility of gases
वाति-विस्तरण expansion of gases
वाति-समीकार gas equation
वाति-स्थिरांक gas constant
वापीडमान barometer (वा = वायु air + पीड = निपीड pressure + मान meter, barometer is used for determining the pressure of the atmosphere)
वापीडमान-वाचन-शोधन correction of barometer reading

वायुरहित free from air
वास्तविक ताप real temperature
विकिरण radiation
विकिरण-विभ्रम error due to radiation
विकिरण-शक्ति radiating power
विकिरण-शोधन radiation correction
विकीर्ण radiated
विक्षेप, प्रक्षेप projection (*pro-* + *ject* throwing forward, प्र-forward+क्षेप throwing वि- is विशेष special)
विगोपित पारद-स्तम्भ शोधन exposed (mercury) stem correction विगोपित is from वि + √गुप् to expose)
विघटक resolved part (cf सघटक component)
विचालक stirrer
विचुम्बकन demagnetization (वि- de-)
विजातीय unlike
विजातीय समान्तर बल unlike parallel force
विद्युच्चाप electric arc
विद्युज्जनित्र electric generator
विद्युत्-परिपथ electric circuit
विद्युत्-सवाहक electrical conductor
विद्युद्-वाह electric current
विनिमय exchange
विन्यास arrangement
विरालेन्य toluene (toluene = tolu + benzene, obtained by distillation of coal अगार tar विराल)
विरूपण deformation
विलयन solution
विलयनाचा गुप्त ऊष्मा, विलयन की गुप्त ऊष्मा latent heat of solution
विलायक solvent
विलीन solute, dissolved
विलीनवायि-हीन free from dissolved gas

विलेय soluble, solute
विलोमक्रमात्, विलोम-क्रमेण, विलोमत conversely
विवर opening
विश्राम-अवस्था state of rest
विश्वव्यापी अभ्याकृष्टि-नियम, law of universal gravitation
विस्तरण expansion
विस्तार्य expansible
विस्थापन displacement
वीक्ष lens (वि- विशेषार्थ + ईक्ष् to see)
वेग speed
व्यवधान partition
व्यवस्थापन adjustment
व्यवस्थाप्य वायुदाबमान Fortin's barometer (has an adjustable cistern)
व्यापार-वात trade winds
व्यास diameter
व्युत्पन्न एकक derived unit
व्युद्वाष्पन bumping (bumping is to give off vapour, often violently व्युद्वाष्पन = वि- off + उद्वाष्पन evaporate)
व्यूहाणु molecule
व्यूहाणु-भार molecular weight
व्योम ether
शक्ति power
शङ्कु cone
शङ्क्वाकार conical, cone-shaped
शङ्क्वाकार पात्र conical vessel
शतघ्नी gun (शतघ्नी 'which kills a hundred' ancient word)
शतिक श्रेणी centigrade scale
शतिमान centimeter (see note on Weights and Measures in the Introduction)
शलाका rod
शाणचक्र grinding wheel (Hindi सान and Marathi सहाण are from Sanskrit शाण)
शिखा-पिधा stop-cock (शिखा-cock + पिधा cover)
शिखा-पीड pinchcock

शि॰ धा॰ का॰ (शतिमान-धान्य-काष्ठिका) C. G. S. (centimeter-gram-second)
शीतन-वक्र cooling curve
शीतनार्घ rate of cooling
शुल्बारि-द्विजारेय sulphur dioxide
शून्यक-उदच vacuum pump
शून्य-विभ्रम zero error
शून्य-स्थिति zero position
शृगाल निवाप thistle funnel (शृगाल is short for शृगाल-कटक-पुष्प yellow thistle flower)
शोधन correction
श्यान-मिश्रण, श्यान मिश्र freezing mixture
श्यानांक freezing point
श्रम् erg (from Greek *ergon* work. It is the unit of energy or work in the C. G. S. system श्रम् is from √श्रम् to work)
श्वेतोष्ण white hot
सयान railway train (स- + यान carriage, स- as a prefix here expresses conjunction; train is a connected line of carriages)
संस्थान configuration
सलागी cohesive (from स- + √लग् to adhere)
सलागी बल cohesive force
संवादी corresponding (संवादी is an ancient word)
संवाहन conduction
सान्द्रता concentration
संकोचन contraction
संक्रमण transit
संक्षेत्र prism
संख्या-गुणक numerical coefficient
संख्यांक numerals
संगामी concurrent (संगामी going together)
संगृहीत stored
संग्रह-कोश storage cell
संग्रह-समूह storage battery

संघटक component

संघनन condensation

संघर्ष friction (सं– together + घर्ष from √घृष् to rub)

संघर्ष-गुणक coefficient of friction

संघर्षहीन frictionless

सछिद्र porous

सजातीय समान्तर बल like parallel forces

सत्य true

सत्य आणि प्रत्यक्ष विस्तरण, सत्य और प्रत्यक्ष विस्तरण true and apparent expansion

सत्यता truth

सत्य विस्तरण true expansion

सत्य विस्तार गुणक coefficient of real expansion

सदिश राशि vector quantity (सदिश having a direction vector is a complex entity representative of a *directed* magnitude)

सतत continuous

संधार framework (from सं– + धार from √धृ 'to hold together')

संधि junction

समछिद्र uniform bore

समतल plane surface

समताप–परिमा निपीड नियम Boyle's law (the law that when a gas is subjected to variation of pressure निपीड and kept at a constant temperature समताप the product of the pressure and volume परिमा is a constant quantity)

समताप–परिवर्तन isothermal change

समताप प्रत्यास्थता isothermal elasticity

समताप वक्र isothermal curve

समतोल–अवस्था, समतोल–स्थिति condition of equilibrium

समतोलित निदोल compen

sated pendulum
समसयुज भार equivalent weight
समाक्ष coaxial
समाग homogeneous (consisting of similar सम parts अग)
समाग uniform
समान्तर बल parallel forces
समांतर बल–केन्द्र centre of parallel forces
समान्तर–श्रेढी arithmetic progression (a progression श्रेढी where elements progress by a constant सम difference अतर)
समायत square (figure) (सम + आयत, a rectangle having equal sides)
समावृत enclosed
समूह गति mass motion
समोष adiabatic (occurring without loss or gain of heat, सम equal + उष = ऊष्मा heat)
समोष परिवर्तन adiabatic change
समोष विचुम्बकन adiabatic demagnetisation
सपरिवर्तन modification
सपरीक्षीय experimental
सपीडक compressor
सपीडित compressed
सपीडयता compressibility
सरल तरलमान simple hydrometer
सविराम intermittent
सहस्र–धान्य kilo gram (see note on Weights and Measures in the Introductio)
सहस्रिमान millimeter (see note on Weights and Measures in the Introduction)
सहसौज kilowatt
साधारण उत्सावाच simple exhaust–pump
साधारण तुला simple balance
साधित्र apparatus (साधित्र from √साध् to accomplish + त्र The suffix -त्र indicates an apparatus or instrument)

स्थायित्व, स्थायिता stability
स्थायी stable
स्थावर stationary (स्थावर ancient word)
स्थितिक ऊर्जा potential energy
स्थित्यन्तर change of state
स्थिर-ताप अवस्था steady state of temperature
स्थिरतापी, स्थिर-ताप कूपी thermos bottle
स्थिर निपीडोष्म साधित्र Regnault's apparatus (for specific heat ऊष्मा of a gas at constant pressure स्थिर निपीड)
स्थिर बिन्दु fixed point
स्थैतिकी statics (स्थैतिक static + -इकी in the sense of a science See note on भौतिकी in the Introduction)
स्थैतिकीय रीति statical method
स्थौल्य मापन measurement of thickness
स्पर्शरेखीय tangential
स्पर्शरेखीय दिशा tangential direction
स्फट crystal
स्फटन-जल water of crystalisation
स्फटिक quartz
स्फटधातु aluminium
स्फुलिंग spark (स्फुलिंग ancient word)
स्वकन calibration (स्वकन =सु + अकन)
स्वज clip (from √स्वज to embrace, to clasp. Cf. English clasp, meaning a clip)
स्वत-व्यवस्थापी self-adjusting
हस्तक handle
हिम ice
हिम उष्मान ice calorimeter
हिम द्रवांक melting point of ice
हृष sensitive (from √हृष् to be excited)
हृषता sensitivity

आंग्ल–भारतीय शब्दावलि

(For the explanation of important words see the preceding glossary)

absolute humidity प्रकेवल आक्लेद
absolute scale of temperature प्रकेवल ताप-श्रेणी
absolute zero प्रकेवल शून्य
absorb प्रचूषण
absorption प्रचूषण
absorptive power प्रचूषण शक्ति
acceleration त्वरण
acceleration due to gravity भ्वाकृष्टि-त्वरण
accelerator प्रावेजक, त्वरक
accurate परिशुद्ध
acid अम्ल
adhesive अभिलागी
adiabatic change समोष्म परिवर्तन
adiabatic demagnetisation समोष्म विचुम्बकन
adjustment व्यवस्थापन
air conditioning system वातावस्थापन पद्धति
alcohol सुषव
alcohol thermometer सुषव तापमान
allotropic forms अपरावर्तिक रूप
alloy मिश्रातु
alternately एकान्तरतया
aluminium स्फटधातु
ampere ध्रुवटि
aneroid barometer अनीर वायुदाबमान
anticlockwise प्रतिघड़ीवत, वामावर्त
apparatus साधित्र

apparent प्रत्यक्ष
apparent change प्रत्यक्ष परिवर्तन
apparent expansion प्रत्यक्ष विस्तरण
apparent noon प्रत्यक्ष मध्याह्न
area क्षेत्रफल
argon मन्दाति
arithmetic progression समांतर श्रेढ़ी
arrangement विन्यास
aspirator चूषित्र
atomic bomb परमाणु प्रस्फोट
atomic weight परमाणु–भार
automobile आत्मवाहक, आत्मवह
average माध्य
axle अक्षदण्ड
bad conductor कुसवाहक
balance तुला
balance wheel तुला–चक्र
barometer वापीडमान
bat (H. बल्ला)
bearing भाष
bellows भस्त्रा (cf Marathi भाता)
benzene धूपेन्य
bevelled edge प्रवणित तट
binomial theorem द्विपद प्रमय
biological जैविकीय
bisect दुभागणें (M.) द्विभाजन
block इष्टका
blunt borer कुंठ छिद्रक (बापट छिद्रक in Marathi)
bob मुण्ड
boiling point बुद्बुदांक
bolometer रोधविकिरणमान
Boyle s Law समताप-परिमा-निपीड नियम
brake आरोध
Bramah press ब्राम्मस पीड
bridge सेतु
bubbling बुद्बुदायन
bulb कंद
bulk modulus of elasticity प्रकाय प्रत्यास्थता मापांक
bumping व्युद्वाप्पन
Bunsen burner पिनाल दाहक
buoyancy उत्प्लाविता

burner दाहक
calcium chloride चूर्णातु नीरेय
calibration अवशोधन, स्वकन
calorie उप
caloric fluid उप-द्रव
calorimeter उप-मान
calorimetry उपमिति
capacity धारिता
capillarity केशालत्व
capillary tube केशाल
carbon arc प्रागार-चाप
carbon dioxide प्रागार-द्विजारेय
carbon disulphide प्रागार-द्विगुल्वेय
cathetometer उल्लंबमान
cavity रन्ध्र
centigrade scale शतिक-श्रेणी
centimeter शतिमान
centre of gravity स्वाकृष्टि-केन्द्र
centre of parallel forces समानिरवल-केन्द्र
centre screw केन्द्र भ्रमि
c. g. s. system शि. धा का पद्धति
change in resistance रोधपरिवर्तन
change of state स्थित्यंतर, अवस्था परिवर्तन
characteristic लाक्षणिक
chemical energy रसायनिक ऊर्जा
chemical hygrometer रसायनिक उन्दमान
chimney (धुराई M.), धूममार्ग
chlorine नीरजी
chlorine hydrate (Cl_2, 8 H_2O) नीरजी जलीय (नी$_2$, ८ उ$_2$ ज)
chlorophyl पर्णदार
chord जीवा
churning rod मन्थन दण्ड
circumference परिधि
circuit परिधि, परिपथ
circular वर्तुलाकार, वर्तुल
clinical thermometer रुग्ण-तापमान
clip स्वज

clockwise घटीवत्
co-axial समाक्ष
coefficient of apparent expansion प्रत्यक्ष विस्तार-गुणक
coefficient of cubical expansion घन-विस्तार-गुणक
coefficient of friction सघर्ष-गुणक
coefficient of linear expansion अनुरेखविस्तार गुणक
coefficient of real expansion सत्य विस्तार गुणक
coefficient of superficial expansion तल-विस्तार गुणक
coefficient of volume elasticity परिमा प्रत्यास्थता गुणक
cohesive सलागी
cohesive force सलागी बल
column स्तम्भ
comparator उपमात्र
comparator method उपमात्र रीति
compensated pendulum समतोलित निदोल
complex जटिल
component संघटक
composition रचना
compressed संपीडित
compressibility संपीड्यता (सपीडयता)
compressibility of gases वातियों की संपीड्यता (H)
compressor संपीडक
concave न्युब्ज
concave reflector न्युब्ज परावर्तक
concentration संकेन्द्रता
concurrent संगामी
condensation संघनन
condition प्रतिबंध, अवस्था, स्थिति
condition of equilibrium समतोल अवस्था, समतोल स्थिति
conduction संवाहन
conduction of heat ऊष्मा-संवाहन, ऊष्मा का संवाहन
cone शंकु
cone shaped शङ्क्वाकार

configuration संरूपण, अनुन्यास

conical शंक्वाकार

conical vessel शंक्वाकार पात्र

consecutive अनुगामी

conservation of energy ऊर्जा-स्थिरता

continuous सतत

contraction संकोचन

convection स्युद्वहन

conversely विलोमत

conversely विलोमक्रमेण, विलोमक्रमाने (Marathi)

convex उत्तुज

convex lens उत्तुज शीश

cooling curve शीतन वक्र

copper ताम्र (तांबें in Marathi)

cork त्वसा

correction शोधन

correction for errors of a thermometer तापमानाच्या विभ्रमाचे शोधन (Marathi), तापमान के विभ्रमों का शोधन (Hindi)

correction of barometer reading वायुदमान शोधन

corresponding सवादी

corrugated वलिमान, वलीयित

couple मिथुन

crank-handle कूर्पर हस्तक

critical pressure काष्ठा निपीड

critical temperature काष्ठाताप

critical volume काष्ठा परिमा

cross wire अनुप्रस्थ तन्तु

crystal स्फट

cubic centimeter घन शतिमान

curved pipette वक्रनाडक

cylinder स्तम्भ

decimal system दशमिक पद्धति

deformation विरूपण

density घनता

density bottle घनता कूपी

depth गभीरता

derived unit व्युत्पन्न एकक

dew अवश्याय

dew point अवश्यायांक
diameter व्यास
differential steam calorimeter प्रवाष्प भेदोष्मान
differential thermometer तापभेदमान
diffusion प्रसृति
diffusivity प्रसारिता
disc बिम्ब
displacement विस्थापन
dissolved विलीन, प्रविलीन
distillation आसवन
division भाग
dull black व्यप कृष्ण
Dulong and Petit's law of atomic heats परमाण्विक ऊष्मा नियम
dynamical method प्रवैगिकीय रीति
dynamics प्रवैगिकी
dyne घावल
efficiency (of a machine) कार्यनिष्पत्ति
efficiency of a machine यन्त्राची कार्य-निष्पत्ति, यन्त्र की कार्य-निष्पत्ति
effort यास बल (in physics effort denotes force hence the word प्रयासबल)
elastic प्रत्यास्थ
elasticity प्रत्यास्थता
electrical conductor विद्युत् संवाहक
electric arc विद्युच्चाप
electric circuit विद्युत् परिपथ
electric current विद्युद् वाह
electric generator विद्युज्जनित्र
elimination निरसन
ellipsoidal ऊनेन्दज
emission उद्गिरण
emissive power उद्गिरण शक्ति
enclosed समावृत्त
energy ऊर्जा
energy of oscillation प्रदोलन ऊर्जा
engine यन्त्र
engineering अभियान्त्रिकी
equivalent weight समस्यूज भार

erg श्रम्
error due to radiation विकिरण विभ्रम
ether व्योम
ether दक्
ether thermoscope दक्तापेक्ष
ethylene दक्लेन्य
evaporation उद्वाष्पन
exact science तथ्य-विज्ञान
exchange विनिमय
exhaust pump उत्श्वासाव
expansible विस्तार्य
expansion विस्तरण
experimental (adj) सपरीक्ष्य, सपरीक्षीय
explosion उत्स्फोट
explosive उत्स्फोटि
exposed stem correction विगमित (पारद) शोधन
external agency बाह्य अभिकर्तृत्व
externally बाह्यत
external work बाह्यकर्म
extracted निस्सारित
factory निर्माण, निर्माणशाला
Fahrenheit scale फ्राँविशा द श्रेणी
foot पाद
film झिल्ली (H)
final velocity अंतिम प्रवेग
fire engine अग्निशामित्र
fixed point स्थिर बिन्दु
flask पम्पिघ
fly wheel प्रचक्र
focal point नाभि बिन्दु
focus नाभि
focussed नाभीयत
focussing नाभीयन
foot poundal पाद प्राबल
force बल
force of resistance रोध-बल
force pump बलोदच
fore arm प्रबाहु
formula सूत्र
Fortin's barometer व्यवस्थाप्य वायोहमान
fraction प्रभाग
frame work सधार
free from air वायुरहित
free from dissolved gas विलीन-वाति हीन

freezing mixture स्यान-मिश्र
freezing point स्यानाक
friction संघर्ष
frictionles संघर्ष हीन
fuel इन्धन
fulcrum स्कम्भा
fundamental interval मूल अंतराल
fundamental quantity मूलराशि
fundamental units मूल एपकें
fungus कवक
furnace भ्राष्ट्र (भट्टी in Marathi and Hindi)
fused silica द्रवित संकजा
galvanometer धुवाहमान
gas constant वाति स्थिराक
gas equation वाति-समीकार
gas regulator वाति नियामक
gas reservoir वाति आशय
gas thermometer वाति तापमान
glycerine मधुरी
gold सुवर्ण
good conductor सुसवाहक
graduated अंकित
gram धान्य
gram molecule धान्य व्यणु
graph बिन्दुरेख
graphite लिखिज
graph paper बिंदुरेख पत्र
gravitational constant अभ्याकृष्टि स्थिराक
gravitational force अभ्याकृष्टीय बल
grid-iron pendulum अयोमर्त्तर निदोल
grinding wheel शाण चक्र
grooved rim प्रसीवी-प्रधि
guards रक्षक
gun शतघ्नी
hair-spring कुंतल-स्वन्द
handle हस्तक
Hare s apparatus अधोवाहु नाल (अधोवाहु नळी in Marathi)
heat ऊष्मा
heat energy ऊष्मोर्जा
helium यानाति
hollow सुषिर

homogeneous समाग
honey मधु
Hooke s law प्रत्यास्थ–विकार नियम
horizontal क्षैतिज
horse–power अश्व–शक्ति
hot–bath तापन
hot water bath उष्ण जलतापन
hydrogen उदजन
hydrometer तरलमान
hydrostatic method तरलस्थितिकीय रीति
hydrostatics तरलस्थैतिकी
hygrometer उदमान
hygrometry उदमिति
hyphothesis उपकल्पना
ice calorimeter हिम उपमान
impulse प्रणोद
impurity अशुद्धि
inch अंगुल
incident आपाती
inclined plane अभिनत समतल
index देशना
inertia जड़ता
initial आद्य
initial velocity आद्य प्रवेग
instantaneous तात्कालिक
instantaneous velocity तात्कालिक प्रवेग
instrument उपकरण
integral पूर्णांक
integral multiple पूर्णाङ्क अपवर्त्य
intermittent सविराम
intermoleculor force अतरा-व्यूहाण्विक–बल
internal force आन्तरबल
internal latent heat आन्तर गुप्त उष्मा
internally आन्तरत
interval अन्तराल
interval of time कालान्तराल
invar अचलातु
inversely proportional प्रतीपानुपाती
inverse proportion प्रतीप अनुपात
inverted निर्नीप
iridium घनातु
iron अयस

iron ring लोह वलय
isothermal change समताप परिवर्तन
isothermal curve समताप वक्र
isothermal elasticity समताप प्रत्यास्थता
isotropic सार्वतिक
jaw जम्भ
jena glass अनल काच
jet क्षिप
Joly's steam calorimeter प्रबाष्प उपमान
joule कोटिश्रम्
Joule Thomson effect निपीड-मोच-शीतन प्रभाव
junction संधि
kilogram सहस्र-धान्य
kilowatt सहस्रौज
kinematic equations प्रगतिकीय समीकार
kinematics प्रगतिकी
kinetic energy गतिक ऊर्जा अथवा गति–ऊर्जा
kinetic theory गति–सिद्धान्त
kinetic theory of matter द्रव्याचा गति–सिद्धान्त, द्रव्यका गति–सिद्धान्त
knife-edge क्षुरी–धारा
lactometer दुग्धमान
latent heat गुप्त ऊष्मा
latent heat of fusion द्रवणाचा गुप्त ऊष्मा, द्रवण की गुप्त ऊष्मा
latent heat of solution विलयनाचा गुप्त ऊष्मा, विलयन की गुप्त ऊष्मा
latent heat of vaporisation वाष्पनाचा गुप्त ऊष्मा, वाष्पन की गुप्त ऊष्मा
lateral surface पार्श्व-तल
latitude अक्षांश
lava भूरस (शिलारस in Marathi)
lavatory धावनी (शौचकूप in Marathi)
law of atomic heats परमाणुष ऊष्मा नियम
law of conservation of matter द्रव्य स्थिरता-नियम
law of floatation प्लवन नियम

law of parallelogram of forces समान्तर भुज नियम
law of partial pressures आंशिक निपीड नियम
law of universal gravitation विश्वव्यापी अभ्याकृष्टि नियम
layer स्तर
lead सीस (H. सीसा, M. शिस)
least count अल्पिष्ठ-माप
leather bag चर्म स्यून
length आयाम
lens बीक्ष
differential thermometer ताप भेदमापी
lever उद्याम
lift उद्वाहन
lifting उद्वाहन
lift-pump उद्वाही उदच
light energy प्रकाश-ऊर्जा
like parallel forces सजातीय समान्तर बल
limiting friction सीमान्त संघर्ष, सीमान्त संघर्ष बल
limiting value सीमार्द्ध
limiting velocity or critical velocity सीमा प्रवेग
linear expansion अनुरेख विस्तरण
linear scale रेखीय श्रेणी
linear strain & longitudinal strain अन्वायाम विकार
line flow रेखा प्रवाह
liquid तरल
liquid ammonia तरल तिक्ताति
liquefaction तरलन
liquefaction of gases वातिकों तरलन, वातियों का तरलन
low conducting कुसवाही
low conductor मन्द सवाहक
lower fixed point नीच स्थिर बिन्दु, अवच स्थिर बिन्दु
lubricant उपस्नेहन-द्रव्य
lubrication उपस्नेहन
machine यंत्र
manganin मङ्गोताम्र

magnitude मात्रा, महत्ता
manometer वाप्पमान
mass पुंज
mass and weight पुंज आणि भार, पुंज और भार
mass motion समूह गति
matter भूतद्रव्य, द्रव्य
maximum and minimum thermometer भूयिष्ठ आणि अल्पिष्ठ तापमान, भूयिष्ठ और अल्पिष्ठ तापमान
maximum vapour pressure भूयिष्ठ बाप्पनिपीड
magnet चुम्बक
magnetic चुम्बकीय
Mcleod guage अल्प निपीडमान
mean मध्यक
mean difference in temperature मध्यक तापभेद
mean position मध्यक स्थिति
mean solar day मध्यक-सौरदिन
mean solar second मध्यक सौर-कणिका
mean value मध्यक अर्हा
measurement of thickness स्थौल्य मापन
measuring jar माप-कलश
measuring scale माप-पट्टी
mechanical advantage यान्त्रिक लाभ
mechanical equivalent यान्त्रिक समार्ह
mechanical equivalent of heat ऊर्जेचा यान्त्रिक समार्ह, ऊर्जा का यान्त्रिक समार्ह
mechanics यान्त्रिकी
melting द्रवण
melting ice द्रवद् हिम
melting point द्रावांक
melting point of ice हिमद्रावांक
membrane कला
mercury manometer पारद वाप्पमान
mercury pendulum पारद निदोल

mercury suction pump पारद चूषोदच
meridian ध्रुव वृत्त
metal box धातु मञ्जूषा
meteorology घनवातिकी
meteorology department घनवातिकी विभाग
metre मान
method of mixture मिश्रण-रीति
micrometer screw अणुमान भ्रमि
micrometer-screw gauge अणुमान-भ्रम्यामान
microscope अण्वीक्ष
mile क्रोशक
millimeter सहस्रिमान
minute कला
mm. (abbreviation of millimeter) सिमा (सहस्रिमान)
mobile चलिष्णु
modification सम्परिवर्तन
moist आर्द्र
molecular weight व्यूहाणु-भार, व्यूहाण्विक भार
molecule व्यूहाणु
moment विभ्रमिपा
moment of a couple मिथुन-विभ्रमिपा
moment of a force बल-विभ्रमिपा
momentum गमता
monatomic एकपरमाण्विक
monatomic gas एकपरमाण्विक वाति
motion गति
moveable screw चलभ्रमि
multiple अपवर्त्य
natural science प्राकृतिक विज्ञान
needle valve सूची-कपाट
negative ऋण
Nicholson's hydrometer अचल निमज्जन तरलमान
nickel रञ्क
nitrogen भूयानि
non-conducting असंवाही
normal atmospheric pressure ऋजु वायुमण्डलीय निपीड
normal boiling point ऋजु बुद्बुदाव

normal temperature and pressure प्रकृ-ताप-निपीड
N. T. P प्रकृ ता नि
numerals संख्यांक
numerical coefficient संख्या गुणक
nut (nut of a screw) नट्ट
objective वस्तुनिष्ठ
observer ईक्षक, निरीक्षक
Ohm धुरोध
oil bath तैलतापन
opening विवर
organic प्रांगारिक
original length मूल आयाम (मूळ लांबी Marathi)
oscillatory motion प्रदोलन गति
osmosis आसृति
osmotic pressure आसृति-निपीड
oxygen जारक
parallel forces समांतर बल
partial distillation आंशिक आसवन
partially evacuated अंशत -शून्यकित
particle कण
partition व्यवधान
pedal पादक
pendulum निदोल
perfect black पूर्ण कृष्ण
perfect gas, ideal gas आदर्श वाति
perimeter परिमाप
periodic time आवर्त-काल
phenomena घटना
photographer's hypo क्षार शुल्वित
physics भौतिकी
pinch-cock शिखि-पीड
piston मुषल
pitch (of screw) अन्तराल
place of industry उद्योग स्थान
plane surface समतल
plastic अभिघट्य
plasticity अभिघटिति
plate पट्ट
platinum महातु
pointer देष्टा
point of suspension निलम्बन बिन्दु

polygon बहुभुज
porous रन्ध्री, सछिद्र
positive धन
potential energy स्थितिज ऊर्जा, स्थिति-ऊर्जा
pound प्राजलि
poundal प्राबल
powder चूर्ण
power शक्ति
pressure निपीड
pressure coefficient निपीड-गुणक
pressure guage निपीडामान
principle of buoyancy उत्प्लाविता-नियम
prism समेत्र
projection विक्षेप
propagation गमन
propeller प्रणोदक
proportional आनुपातिक
pulley आकृषि
pump उदच
pyrometer प्रतापमान
quantitative इयत्तात्मक
quantity राशि
quartz स्फटिक
rack and pinion screw निलय-दन्तिका भ्रमि
radial अरीय
radiated विकीर्ण
radiating power विकिरण शक्ति
radiation विकिरण
radiation correction विकिरण शोधन
radius of curvature वक्रता त्रिज्या
rails वहाक (पटरिया in Hindi)
railway train सयान (आगगाड़ी in Marathi)
range of temperature तापक्षेत्र
rate अर्घ
rate of cooling शीतनार्घ
ray रश्मि
reaction प्रतिक्रिया
Reaumur scale अनीतिक श्रेणी
rectilinear ऋजुरेखीय
reflection परावर्तन
reflector परावर्तक
refraction भुजायन
refrigerator प्रशीतक

regelation पुन स्थान
Regnault's apparatus स्थिर निपीडोष्म-साधित्र
relative humidity सापेक्ष आक्लेद
relativity सापेक्षता
relativity theory सापेक्षता सिद्धान्त
representation प्रतिरूपण
research अन्वेषण
reservoir जलाशय
resistance thermometer रोध-तापमान
resolved part विघटक
resolved part of a force बलाचा विघटक, बल का विघटक
resultant force परिणामी बल
resultant motion परिणामी गति
rigid परिदृढ
rigid body परिदृढ वस्तु
rigidity modulus परिदृढता-मापाक
rigidity modulus of elasticity परिदृढ-प्रत्यास्थता-मापाक
ring वलय
rod शलाका
rotation परिभ्रमण
rotational motion परिभ्रमण-गति
rubber घृषि
rubber ball घृषि-कन्दुक (घृषीचा चेंडू in Marathi)
rubber cork घृषित्वक्षा
safety lamp अभयदीप
salt लवण
saturated अनुविद्ध
scalar quantity आदिश राशि
scale of temperature ताप-श्रेणी
scissors कर्तरी (कात्री in Marathi)
screened आवृत
screw भ्रमि
screw jack भ्रमि उत्थाप
screw nut भ्रमि नह
second काष्ठिका
secular rise of zero दीर्घ कालीन घन शून्य विभ्रम
selective प्रवृत्त
self-adjusting स्वय-व्यवस्थापी

semipermeable अर्धातिवेध्य
semipermeable membrane अर्धातिवेध्यवला
sensitive हृप
sensitivity हृपता
sheet स्तार
side screw पार्श्व-भ्रमि
sign of division भागचिन्ह
silica सैकजा
silver रजत
simple balance साधारण तुला (साधी तुला in Marathi)
simple exhaust pump साधारण उत्स्वावाच (साधा उत्स्वावाच in Marathi)
simple Hydrometer सरल तरलमान
sinker निमज्जक
smoothness मसृणता (गुळगुळीतपणा in Marathi)
sodium chloride क्षारातु नीरेय
solar day सौर दिन
solar noon सौर मध्यान्ह
solid सान्द्र
solid body सान्द्र वस्तु
solidification सान्द्रीकरण, सान्द्रीभवन
solute विलीन, विलेय
solution विलयन
solvent विलायक
source प्रभव
source of heat ऊष्म्याचा प्रभव, ऊष्मा का प्रभव
space वरिमा
sparks स्फुलिंग
specific gravity आपेक्षिक भार
specific gravity bottle आपेक्षिक-घनता-कूपी
specific heat आपेक्षिक ऊष्मा
speed वेग
sphere गोल
spheroidal state गोलाभीय स्थिति
spherometer गोलत्वमान
spiral कुंतल
spirit level प्रासव तल
spoke अर
spring स्कन्द
spring balance स्कन्द तुला
square समायत

squaring द्विघातन

stable स्थायी

stability स्थायित्व, स्थायिता

standard प्रमाप

standard gas thermometer प्रमाप-वाति-तापमान

standard meter प्रमाप मान

standard pressure प्रमाप निपीड

standard thermometer प्रमाप-तापमान

state of rest विश्राम अवस्था

statical method स्थैतिकीय रीति

statics स्थैतिकी

stationary स्थावर

steady state of temperature स्थिर-ताप अवस्था

steam generator प्रबाष्प जनित्र

steam jacket प्रवाष्प कोष्ठ (प्रबाष्प कोठी in Marathi)

steam trap प्रवाष्प पजर

steel व्रजायस

steering wheel अरित्र चक्र

stem स्तभ

stirrer विचालक

stop cock शिखि-पिधा

stopper पिधा

storage battery सग्रह समूहा

storage cell सग्रह-कोशा

stored सगृहीत

stress प्रत्यावल

stroke आघात

subjective आत्मनिष्ट

successive आनुक्रमिक

suction pump चूषोदक

sulphur dioxide शुल्बारि द्विजारेय

sum योग

super cooling अधिशीतन

super-heating अधितापन

surface tension तल आवति

surroundings परिवृति, परिवारण

syphon निनाल

tangential स्पर्शरेखीय

tangential direction स्पर्शरेखीय दिशा

telescope दूरेक्ष

temperature ताप

temperature gradient ताप प्रवणक

temperature of liquefaction तरलन-ताप
temporary fall of zero अल्पकालीन ऋण शून्य-विभ्रम
tensile आतन्य
test tube परीक्षण नाल, (परिक्षण नळी in Marathi)
theory of heat exchanges ऊष्मा-विनिमय सिद्धान्त
thermal capacity तापीय धारिता
thermal conductivity ऊष्मा संवाहिता
thermo-couple ताप-मिथुन
thermo-dynamics ताप-प्रवैगिकी
thermometer तापमान
thermometry तापमिति
thermopile तापचिति
thermos bottle स्थिर-तापी
thermostat तापस्थापू
thistle funnel शृगाल-निवाप
thread सूत्र
three-way-cock त्रिमार्ग-धिम्री
time काल
toluene विरालेन्य
Torricellian vacuum ऊर्ध्व शून्यक
trade-winds व्यापार-वायु (व्यापारोपयोगी वारे in Marathi)
transit संक्रमण
translational motion स्थानांतरण गति
transmissibility पारेष्यता
transmissibility of a force बल-पारेष्यता
transmissibility of pressure निपीड-पारेष्यता
triangle of forces बल-त्रिकोण
trigonometry त्रिकोणमिति
tripod त्रिपाद
trough द्रोणी
true सत्य
true and apparent expansion सत्य आणि प्रत्यक्ष विस्तरण, सत्य और प्रत्यक्ष विस्तरण
true expansion सत्य विस्तरण

true temperature वास्तविक ताप
turbulent flow प्रक्षुब्ध प्रवाह
type मुद्र
unbalanced असंतुलित
uncreatable असृज्य
uniform समांग
uniform bore समछिद्र
uniform velocity एकरूप प्रवेग
unit एकक
unlike विजातीय
unlike parallel force विजातीय समांतर बल
unsaturated असंतृप्त
unstable state अस्थिर स्थिति
upper fixed point उच्च स्थिर बिंदु
U-tube ऊर्ध्ववाहू-नाल (ऊर्ध्ववाहू नळी in Marathi)
U-tube method ऊर्ध्ववाहू नळीची रीत, ऊर्ध्ववाहू नाल रीति
vacuum pump शून्यक उदंच
valve कपाट
vane पक्ष फलक
vapour बाष्प
vapour density बाष्प घनता
vapourisation बाष्पन
vapour pressure बाष्प निपीड
vapour pressure of water पाण्याच्या बाष्पाचे निपीड, जल का बाष्प निपीड
variable velocity चल प्रवेग
variable state चल अवस्था
vector quantity सदिश राशि
vegetable oil वनस्पति तैल
velocity प्रवेग
ventilator वातायन
vernier caliper अनुश्रेणी व्यासमि
vernier constant अनुश्रेणी स्थिरांक
vernier scale अनुश्रेणी
vertical उदग्र
vertically upwards उदग्राभिमुख
vertical scale उदग्र श्रेणी
vertical U tube उदग्र ऊर्ध्ववाहू नळी, उदग्र ऊर्ध्ववाहू नाल
vibration आवर्तन

viscosity आल्गत्व
viscous आल्ग
volume परिमा
volume coefficient परिमा गुणक
washing soda धावनक्षार
water equivalent जल-समार्द्र
watermill पाणचक्की (Marathi), पनचक्की (Hindi)
water of crystalization स्फटन जल
water tight जलाप्रवेश
water trap जल-पंजर
water vapour जल-बाष्प
watt वोत
wave length तरंगायाम
weight भार
weight thermometer भार-तापमान
wet and dry bulb thermometer आर्द्र आणि शुष्क कन्द तापमान, आर्द्र और शुष्क कन्द तापमान
wheel चक्र
wheel and axle चक्र आणि अक्षदण्ड, चक्र और अक्षदण्ड
white hot श्वेतोष्ण
wind mill पवन चक्की
work कर्म, कार्य
work and power कर्म आणि शक्ति, कर्म और शक्ति
Young's modulus of elasticity प्रत्यास्थता-मापांक, रेखीय प्रत्यास्थता मापांक
zero error शून्य विभ्रम
zero position शून्य स्थिति
zinc कुप्यातु (commonly जस्त in Marathi and जस्ता in Hindi)

शुद्धिपत्रक



(भाषा विषयक)

पृष्ठसंख्या ओळ		अशुद्ध	शुद्ध
पृ. ४ ओळ	५	ध्रुववृत्तावरून	ध्रुववृत्तावरून
पृ. १९ ओळ	१	आवेजकाने	प्रावेजकाने
पृ. २९ ओळ	२४	निक्षेप	विक्षेप
पृ. ३१ ओळ	१४	यत्र	गत्र
पृ. ३५ ओळ	२	ऊष्मोर्जा	ऊष्मोर्जा
पृ. ८७ ओळ	१५	transmissibility ...	transmission
पृ. ८९ ओळ	१४	पीडन यंत्रात	आम्मस् पीड यंत्रात
पृ. १११ ओळ	१५	श्रोवन	स्रवन
पृ. ११५ ओळ	७	सपीडता	सपीडघना
पृ. १२१ ओळ	१७	चुषाच	चुषोदच
पृ. १२१ ओळ	२३	पारद चुषांचाने	पारद चुषोदचाने
पृ. १२२ ओळ	२०	पारद चुषांचाने	पारद चुषोदचाने
पृ. १२२ ओळ	२२	Macleod's guage	Mcleod's gauge
पृ. १२३ ओळ	४	समक्टिर	समटिर

			अशुद्ध	शुद्ध
पृ. १२९	ओळ	२२	आरीय	अरीय
पृ. १३९	ओळ	१५	manganese	manganin
पृ. १५८	ओळ	२०	सच्छिद्र	सछिद्र
पृ. १६१	ओळ	१	जिवाणूचा	कवकाचा
पृ. १६४	ओळ	११	(water vapour)	(steam)
पृ. १७३	ओळ	१५	ऋष्ण तापमान	रुग्ण तापमान
पृ. १७५	ओळ	१८	विद्युत वाहकाचे	विद्युत्वाहकाचे
पृ. १८२	ओळ	९	सैंक्ता	सैंकजा
पृ. २२९	ओळ	४–५	निमार्ग–पिघेने	निमार्ग–गिल्ौने
पृ. २६३	ओळ	११	लिक्षारसाचा	लिखिजाचा
पृ. २८०	ओळ	९	क्षार सुल्वित	क्षार सुल्वित
,,	,, ओळ	११	स्फट जलात	स्फटन जलात
पृ. २८७	ओळ	१	Jolly's	Joly's
पृ. २८९	ओळ	१९	,,	,,
पृ. २९५	ओळ	२०	दक्षुबाष्पाची	दक्षुबाष्पाची
पृ. २९९	आकृति	१२-३	पारदाराश	पारदाशय
पृ. ३१७	ओळ	२३	(vacuum pump)	(suction pump)
प्रकरण १३	ध्यान		प्रबाष्प	जलबाष्प
पृ. ३३५	ओळ	३	आर्द्र आणि शुष्क तापमाने	आर्द्र आणि शुष्क कन्द तापमाने
पृ. ३३६	ओळ	१४	आर्द्रवायूचा पुज निश्चयन	आर्द्रवायूचे पूजनिश्चयन
पृ. ३४०	ओळ	१	वात्यावस्थापन	वातावस्थापन
पृ. ३५३	ओळ	१७	विद्युत्जन	विद्युज्जनित्र

	अशुद्ध	शुद्ध
पृ. ३५४ ओळ ६	अणु–	परमाणु–
पृ. ३७० ओळ १	(extent and configuration)	(extent and direction)
पृ. ३७५ ओळ १	प्रस्फोटक	उत्स्फोटि
पृ. ३९६ ओळ १७	कल्पना	उपकल्पना
पृ. ३९९ ओळ २१	दीप्तोष्ण	श्वेतोष्ण
पृ. ४०९ ओळ २०	विनियम	विनिमय
पृ. ४११ ओळ २	विनियमाची	विनिमयाची
पृ. ४१२ ओळ १६,१८,१९,२०	माध्य	मध्यक



शुद्धिपत्रक



(गणित विषयक)

पृ. २०३ ओळ १२

अशुद्ध

$$\text{व}_{\text{स}} = \frac{[\text{पा}_{०}(१+\text{क}_{०}\cdot\text{त})-\text{पा}_{०}]}{\text{पा}_{०}\ \text{त}}$$

शुद्ध

$$\text{व}_{\text{स}} = \frac{[\text{पा}(१+\text{क}\cdot\text{त})-\text{पा}_{०}]}{\text{पा}_{०}\ \text{त}}$$

पृ. २१६ ओळ १

अशुद्ध

$$[\text{स}\ \text{व}_{\text{प्र}}(\text{त}_{१}-\text{त})]$$

शुद्ध

$$[\text{स}\ \text{व}_{\text{प्र}}(\text{त}_{२}-\text{त}_{१})]$$

पृ. २२६ ओळ ६

अशुद्ध

$(\text{त}_{१})$

शुद्ध

$(\text{त}_{२})$

पृ. २४० ओळ १०

अशुद्ध

$$\frac{\text{ना}_{१००} - \text{ना}_{०}}{\text{त}^{६}_{१००} - ०^{\circ}}$$

शुद्ध

$$\frac{\text{ना}_{१००} - \text{ना}_{०}}{१००^{\circ} - ०^{\circ}}$$

पृ. ३५२ ओळ १९

अशुद्ध

$$\text{स} \times २ \times \text{प्या} \times \text{ग} \,(\text{भ} - \text{भ}_{१}) \times \text{मू}$$

शुद्ध

$$\text{स} \times २ \times \text{प्या} \times \text{ग} \,(\text{पु} - \text{पु}_{१}) \times \text{मू}$$

ह्या पुस्तकाची (१) ४३, ४४, ४५...५०
(२) १ ते ४२१
(३) १* ते ५७* ही पाने
श्री. वि. ना. वाडेगावकर, बी. एस्सी. ह्यांनी आपल्या
उद्यम कमर्शियल प्रेस, धर्मपेठ नागपूर, मध्ये छापली.